



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones

**COMPARACIÓN DE MODELOS DE SEGUIMIENTO SOLAR Y  
ANÁLISIS ECONÓMICO-ELÉCTRICO DE UN SISTEMA  
SOLAR FIJO**

*Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones.*

**Autor:**

Javier Fernando Carpio Vintimilla  
C.I. 0106012230  
javier.carpiovintimilla1995@gmail.com

**Director:**

Ing. Luis Gerardo González Morales, PhD.  
C.I. 1729711059

**CUENCA – ECUADOR  
10-AGOSTO-2021**

## Resumen

El daño ambiental, producido por el uso de combustibles fósiles, ha aumentado de forma sustancial en el planeta, esto impulsa iniciativas que promueven el uso de nuevas fuentes de energía renovable no convencional, en el presente caso la energía solar fotovoltaica. Ésta es una energía limpia debido que no produce contaminación ambiental y sustentable porque el recurso solar está presente todo el tiempo en nuestro planeta. El presente trabajo de titulación busca analizar la generación de electricidad a través de la energía solar fotovoltaica, comparando tres diferentes sistemas. Para ello, se analizan, mediante simulaciones y mediciones, tres prototipos a pequeña escala de captación de energía solar, los cuales son: el convencional sistema fijo con un panel tomando datos en una sola posición geográfica todo el tiempo, en segundo lugar, un seguidor solar de un eje (de este a oeste) y finalmente se adiciona un seguidor de todos los puntos cardinales (dos ejes), para a través de resultados analizar el mejor sistema solar fotovoltaico. Complementariamente, se realiza un análisis eléctrico y económico del sistema fotovoltaico del Campus Balzay de la Universidad de Cuenca para a través de los datos obtenidos determinar la viabilidad de ejecutar estudios de proyectos de micro generación solar fotovoltaica considerando la normativa del servicio público de energía eléctrica vigente en el Ecuador, tanto para empresas y viviendas convencionales de la ciudad de Cuenca. Además, se realiza una pequeña encuesta para determinar qué valor económico las personas estarían dispuestas a pagar por un servicio eléctrico limpio.

**Palabras Clave:** Energías renovables no convencionales. Energía solar fotovoltaica. Microgeneración. Panel monocristalino fijo. Panel policristalino fijo. Sistemas de seguimiento solar de un eje. Sistemas de seguimiento solar a dos ejes. Análisis eléctrico. Análisis Económico.

## Abstract

The environmental damage caused by the use of fossil fuels has increased substantially on the planet, this drives initiatives that promote the use of new non-conventional renewable energy sources, in this case photovoltaic solar energy. This is a clean energy because it does not produce environmental pollution and sustainable because the solar resource is present all the time on our planet. The present work seeks to analyze the generation of electricity through photovoltaic solar energy, comparing three different systems. For this purpose, three small-scale prototypes of solar energy collection are analyzed through simulations and measurements, which are: the conventional fixed system with a panel taking data in a single geographical position all the time, secondly, a solar tracker of one axis (from east to west) and finally a tracker of all cardinal points (two axes) is added, to analyze through results the best solar photovoltaic system. Complementarily, an electrical and economic analysis of the photovoltaic system of the Balzay Campus of the University of Cuenca is carried out to determine the feasibility of executing studies of solar photovoltaic micro generation projects considering the regulations of the public service of electric energy in force in Ecuador, both for companies and conventional houses in the city of Cuenca. In addition, a small survey is conducted to determine what economic value people would be willing to pay for a clean electricity service.

**Keywords:** Non-conventional renewable energies. Photovoltaic Solar Energy. Microgeneration. Fixed monocrystalline panel. Fixed polycrystalline panel. Single axis solar tracking systems. Two-axis solar tracking systems. Electrical analysis. Economic analysis.

## Índice general

RESUMEN .....	1
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	12
1.2 ANTECEDENTES.....	13
1.3 ALCANCE.....	13
1.4 OBJETIVOS .....	14
1.4.1 Objetivo general.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos.....	14
1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	15
<b>CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>16</b>
2.1 ENERGÍA SOLAR.....	16
2.2 EFECTO FOTOVOLTAICO .....	18
2.2.1 Células Fotovoltaicas .....	19
2.3 RADIACIÓN SOLAR.....	20
2.3.1 Generación de la Radiación Solar .....	20
2.3.2 Masa de Aire .....	21
2.3.3 Distribución espectral de la radiación solar .....	22
2.4 EL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO .....	23
2.4.1 Parámetros característicos y eléctricos de los paneles fotovoltaicos.....	24
2.4.2 Tipos de paneles solares fotovoltaicos.....	24
2.5 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR .....	29
2.5.1 Geometría Solar .....	29
2.5.2 Tipos de sistemas de seguimiento solar.....	30
2.6 SISTEMA FOTOVOLTAICO FIJO EN INMUEBLES .....	34
2.6.1 Instalaciones conectadas a la red de distribución.....	34
2.6.2 Instalaciones aisladas a la red de distribución .....	37
2.7 ASPECTOS ECONÓMICOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	39
2.8 COMPONENTES ELECTRÓNICOS USADOS EN PROTOTIPOS DE SEGUIDORES SOLARES.....	41
<b>CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA Y DISEÑO DE PROTOTIPOS DE SEGUIMIENTO SOLAR.....</b>	<b>46</b>
3.1 DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR FIJO.....	46
3.1.1 Diseño mecánico del seguidor fijo .....	46
3.1.2 Diagrama electrónico del seguidor fijo .....	48
3.1.3 Algoritmo del seguidor fijo .....	50
3.2 DESARROLLO Y MONTAJE DE UN PROTOTIPO DEL SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE .....	51



3.2.1 Diseño mecánico del seguidor de un eje.....	51
3.2.2 Diagrama electrónico del seguidor de un eje .....	53
3.2.3 Algoritmo del seguidor de un eje.....	55
3.3 DESARROLLO Y MONTAJE DE UN PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO SOLAR DE DOS EJES.....	57
3.3.1 Diseño mecánico del seguidor de dos ejes.....	58
3.3.2 Diagrama electrónico del seguidor de dos ejes .....	60
3.3.3 Algoritmo del seguidor de dos ejes.....	61
<b>CAPÍTULO 4 : DESARROLLO DE SIMULACIONES DE CADA MODELO Y ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS .....</b>	<b>63</b>
4.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PANEL SOLAR.....	66
4.2 DATOS ADQUIRIDOS DE LOS PROTOTIPOS DE SEGUIMIENTO .....	68
4.2.1 Seguidor solar fijo.....	68
4.2.2 Seguidor solar de un eje.....	69
4.2.3 Seguidor solar de dos ejes .....	69
4.3 COMPARATIVA DE SEGUIDORES SOLARES.....	70
4.3.1. Relación voltaje sobre tiempo.....	70
4.3.2. Relación con temperatura.....	78
<b>CAPÍTULO 5 : ANÁLISIS ECONÓMICO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED .....</b>	<b>81</b>
5.1 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO ‘ECO CAMPUS BALZAY’ .....	81
5.1.1 Generación fotovoltaica mes de noviembre de 2020.....	82
5.1.2 Generación fotovoltaica mes de diciembre de 2020.....	84
5.1.3 Generación fotovoltaica mes de enero de 2021 .....	86
5.1.4 Generación fotovoltaica mes de febrero de 2021 .....	89
5.1.5 Generación fotovoltaica mes de marzo de 2021 .....	91
5.1.6 Generación fotovoltaica mes de abril de 2021.....	93
5.1.7 Resumen de generación de kWh del sistema fotovoltaico.....	95
5.2 MATERIALES, IMPUESTOS, PRECIOS DE COSTOS, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	97
5.2.1 Normativa ecuatoriana.....	97
5.2.2 Beneficios de la instalación de la energía fotovoltaica en Ecuador .....	99
5.2.3 Costos de instalación y de componentes para campus Balzay.....	101
5.2.2.1 Costos instalación monocristalinos fijos para el campus Balzay.....	101
5.2.2.2 Costos instalación policristalinos fijos para el campus Balzay.....	103
5.2.4 Costos de instalación y de componentes para una vivienda. ....	105
5.2.3.1 Costos instalación monocristalinos fijos para una vivienda. ....	105
5.2.3.2 Costos instalación policristalinos fijos para una vivienda.....	107
5.3 CÁLCULOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA .....	108
5.3.1 Cálculos de viabilidad monocristalinos campus Balzay.....	110
5.3.2 Cálculos de viabilidad policristalinos campus Balzay.....	112
5.3.3 Cálculos viabilidad económica sistema completo .....	114
5.3.3 Cálculos de viabilidad monocristalinos de una vivienda. ....	116

5.3.3.1 Análisis para impuesto a la renta para viviendas con tecnología monocristalina .....	117
5.3.4 Cálculos de viabilidad policristalinos de una vivienda.....	127
5.3.4.1 Análisis para impuesto a la renta para viviendas con tecnología policristalina .....	128
5.4 ENCUESTAS REALIZADAS A PERSONAS. ....	138
5.4.1 Preguntas de la encuesta .....	138
5.4.2 Respuestas de la encuesta realizada.....	140
<b>CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>143</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	143
6.2 RECOMENDACIONES .....	143
<b>CAPÍTULO 7 ANEXOS.....</b>	<b>145</b>
ANEXO 1 INSOLACIÓN SOLAR DEL ECUADOR .....	145
ANEXO 2 HOJA TÉCNICA DE PANEL SOLAR A-250M MARCA ATERSA.....	147
ANEXO 3 HOJA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR A-395MGS MARCA ATERSA.....	148
ANEXO 4 HOJA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR A-335PGS MARCA ATERSA.....	149
ANEXO 5 HOJA TÉCNICA INVERSOR RED SOLIS 2000G. ....	150
ANEXO 6 CAPTURA DE MUESTRAS DEL SISTEMA SCADA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO BALZAY. ....	151
ANEXO 7 MEDICIONES DE LOS PROTOTIPOS FOTOVOLTAICOS.....	152
ANEXO 8 MEDICIONES DE LOS PROTOTIPOS JUNTOS EN UN DÍA LLUVIOSO.....	154
ANEXO 9 CAPTURA DE MUESTRAS DE LOS PROTOTIPOS DE SEGUIMIENTO SOLAR .....	155
<b>CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>156</b>

# Índice de figuras

Figura 2.1 Formas obtención de energía solar .....	16
Figura 2.2 Altura y grados solares en diferentes etapas del año en los 4 ejes cardinales. ....	17
Figura 2.3 Efecto Fotovoltaico en una célula.....	19
Figura 2.4 Irradiancia espectral del sol en el planeta Tierra.....	20
Figura 2.5 Masa de aire representa la proporción de la atmósfera que la luz debe atravesar antes de golpear la Tierra.....	22
Figura 2.6 Partes de un panel solar fotovoltaico. ....	23
Figura 2.7 Panel Solar Monocristalino. ....	26
Figura 2.8 Panel Solar Policristalino. ....	26
Figura 2.9 Panel Solar de capa Fina. ....	27
Figura 2.10 Panel Solares Bifaciales. ....	28
Figura 2.11 Geometría del sol con respecto al panel solar. ....	30
Figura 2.12 Sistema de seguimiento solar de un solo eje.....	31
Figura 2.13 Sistema de seguimiento solar de dos ejes. ....	32
Figura 2.14 Sistema de seguimiento solar pasivo. ....	32
Figura 2.15 Sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución.....	35
Figura 2.16 Protecciones de sistemas fotovoltaicos (Varistor, Fusible) .....	36
Figura 2.17 Sistema fotovoltaico aislado a la red de distribución en hogares .....	38
Figura 2.18 Gráfica del TIR de dos inversiones. ....	40
Figura 2.19 Arduino nano .....	41
Figura 2.20 Módulo SD. ....	42
Figura 2.21 Módulo RTC .....	42
Figura 2.22 Módulo de medición de temperatura y humedad .....	43
Figura 2.23 Servomotores .....	43
Figura 2.24 Panel Solar Policristalino. ....	44
Figura 2.25 Mini panel solar. ....	44
Figura 3.1 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar fijo.....	46
Figura 3.2 Diseño mecánico del seguidor solar fijo .....	47
Figura 3.3 Montaje de partes del seguidor solar fijo.....	48
Figura 3.4 Circuito de acondicionamiento del panel solar.....	48
Figura 3.5 Conexión de cada elemento electrónico al módulo Arduino .....	49
Figura 3.6 Esquema electrónico del seguidor solar fijo .....	49
Figura 3.7 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar fijo .....	50
Figura 3.8 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar de un eje .....	51
Figura 3.9 Diseño mecánico del seguidor solar de un eje.....	52
Figura 3.10 Montaje de partes del seguidor solar de un eje .....	53
Figura 3.11 Circuito de acondicionamiento de los mini paneles solares.....	54
Figura 3.12 Conexión de servomotor al módulo Arduino .....	54
Figura 3.13 Esquema electrónico del seguidor solar de un eje.....	54
Figura 3.14 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar de un eje .....	56
Figura 3.15 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar de 2 ejes.....	57
Figura 3.16 Diseño mecánico del seguidor solar de dos ejes .....	58
Figura 3.17 Diseño mecánico del seguidor solar de dos ejes .....	59
Figura 3.18 Montaje de partes del seguidor solar de dos ejes .....	60
Figura 3.19 Esquema electrónico del seguidor solar de dos ejes.....	61
Figura 3.20 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar de dos ejes.....	62

Figura 4.1 Identificación del lugar de prueba para cada tipo de seguidor .....	66
Figura 4.2 Lectura del valor de voltaje del panel solar en ambiente despejado.....	67
Figura 4.3 Lectura del valor de voltaje con y sin incidencia de luz a través del microcontrolador Arduino .....	68
Figura 4.4 Ubicación del seguidor solar fijo previo a adquisición .....	69
Figura 4.5 Posiciones de ubicación del panel solar para el seguidor solar de un eje.....	69
Figura 4.6 Posiciones de ubicación del panel solar para el seguidor solar de dos ejes.....	70
Figura 4.7 Voltaje generado sobre horas en un día .....	70
Figura 4.8 Comparativa sobre el número de muestras del 10 al 13 de marzo de 2021 .....	71
Figura 4.9 Comparativa sobre el número de muestras del 14 al 16 de marzo de 2021 .....	71
Figura 4.10 Comparativa sobre el número de muestras del 18 al 21 de marzo de 2021 .....	72
Figura 4.11 Comparativa sobre el número de muestras del 22 al 25 de marzo de 2021 .....	72
Figura 4.12 Comparativa sobre el número de muestras del 26 al 29 de marzo de 2021 .....	73
Figura 4.13 Comparativa sobre el número de muestras del 30 de marzo al 02 de abril de 2021.....	73
Figura 4.14 Comparativa sobre el número de muestras del 03 al 06 de abril de 2021.....	74
Figura 4.15 Comparativa sobre el número de muestras del 07 al 10 de abril de 2021.....	74
Figura 4.16 Comparativa sobre el número de muestras del 11 al 14 de abril de 2021.....	75
Figura 4.17 Comparativa sobre el número de muestras del 15 al 18 de abril de 2021.....	75
Figura 4.18 Comparativa sobre el número de muestras del 19 al 22 de abril de 2021.....	76
Figura 4.19 Comparativa sobre el número de muestras del 23 al 26 de abril de 2021.....	76
Figura 4.20 Comparativa sobre el número de muestras del 27 al 30 de abril de 2021.....	77
Figura 4.21 Comparativa sobre el número de muestras del 01 al 04 de mayo de 2021.....	77
Figura 4.22 Comparativa sobre el número de muestras del 05 al 08 de mayo de 2021.....	78
Figura 4.23 Gráficos de dispersión Voltaje/Temperatura de los diferentes tipos de seguidores .....	79
Figura 4.24 Gráficos de dispersión radiación solar y temperatura entre 10 de marzo a 08 de mayo del 2021 ..	80
Figura 5.1 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 03-11-20.....	81
Figura 5.2 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 02-11-20.....	82
Figura 5.3 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 09-11-20.....	83
Figura 5.4 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 10-12-20.....	85
Figura 5.5 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 26-12-20.....	85
Figura 5.6 Datos de energía del sistema fotovoltaico 31-01-21 .....	87
Figura 5.7 Datos de energía del sistema fotovoltaico 22-01-21.....	88
Figura 5.8 Datos de energía del sistema fotovoltaico 07-02-21 .....	90
Figura 5.9 Datos de energía del sistema fotovoltaico 18-02-21.....	90
Figura 5.10 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 26-03-21.....	92
Figura 5.11 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 31-03-21 .....	92
Figura 5.12 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 11-04-21 .....	94
Figura 5.13 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 30-04-21 .....	94
Figura 5.14 Esquema de Conexión según ARCONEL .....	98
Figura 5.15 Precio Panel Solar Monocristalino. ....	101
Figura 5.16 Precio Inversor Fronius Symo.....	102
Figura 5.17 Precio Estructuras de soporte. ....	102
Figura 5.18 Precio Panel Solar Policristalinos.....	104
Figura 5.19 Inversor sistema fotovoltaico. ....	106
Figura 5.20 Soporte de paneles solares. ....	106
Figura 5.21 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 5%. ....	118
Figura 5.22 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 10%. ....	120
Figura 5.23 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta 12% .....	121
Figura 5.24 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 15% .....	122

<b>Figura 5.25 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 20%</b> .....	<b>124</b>
<b>Figura 5.26 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 25%</b> .....	<b>125</b>
<b>Figura 5.27 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 30%</b> .....	<b>126</b>
<b>Figura 5.28 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 5%.</b> .....	<b>129</b>
<b>Figura 5.29 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 10%.</b> .....	<b>130</b>
<b>Figura 5.30 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta 12%</b> .....	<b>131</b>
<b>Figura 5.31 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 15%</b> .....	<b>133</b>
<b>Figura 5.32 <i>Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 20%</i></b> .....	<b>134</b>
<b>Figura 5.33 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 25%</b> .....	<b>135</b>
<b>Figura 5.34 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 30%</b> .....	<b>137</b>
<b>Figura 5.35 Preguntas de la encuesta de paneles solares fotovoltaicos</b> .....	<b>138</b>
<b>Figura 5.36 Preguntas siguientes de la encuesta de paneles solares fotovoltaicos</b> .....	<b>139</b>
<b>Figura 5.37 Respuesta sobre ahorro energético.</b> .....	<b>140</b>
<b>Figura 5.38 Respuesta sobre método alternativo de energía.</b> .....	<b>140</b>
<b>Figura 5.39 Respuesta sobre precios.</b> .....	<b>141</b>
<b>Figura 5.40 Respuesta sobre costos de inversión.</b> .....	<b>141</b>
<b>Figura 5.41 Respuesta sobre factura eléctrica.</b> .....	<b>142</b>

# Índice de tablas

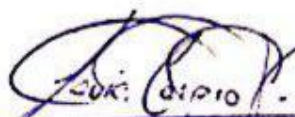
Tabla 2.1 Aspectos que afectan a los semiconductores .....	25
Tabla 2.2 Resumen de paneles solares .....	27
Tabla 3.1 Parámetros de impresión para el seguidor solar fijo .....	47
Tabla 3.2 Parámetros de impresión para el seguidor solar de un eje.....	52
Tabla 3.3 Parámetros de impresión para el seguidor solar de dos ejes .....	60
Tabla 3.4 Costos de prototipo de sistema solar fijo .....	63
Tabla 3.5 Costos de prototipo de sistema de seguimiento de un eje.....	64
Tabla 3.6 Costos de prototipo de sistema de seguimiento de dos eje. ....	65
Tabla 4.1 Valores de voltaje obtenidos en diferentes ambientes .....	67
Tabla 5.1 Energía captada en noviembre de 2020 .....	84
Tabla 5.2 Energía captada en diciembre 2020.....	86
Tabla 5.3 Energía captada en enero del 2021 .....	89
Tabla 5.4 Energía captada de febrero de 2021 .....	91
Tabla 5.5 Energía captada de marzo del 2021.....	93
Tabla 5.6 Energía captada de abril de 2021 .....	95
Tabla 5.7 Resumen mensual de generación del sistema fotovoltaico.....	96
Tabla 5.8 Listado de precios policristalinos fijos 15kWp .....	103
Tabla 5.9 Listado de precios policristalinos fijos 15kWp .....	104
Tabla 5.10 Listado precio monocristalinos Vivienda .....	107
Tabla 5.11 Listado de precios de Policristalinos Vivienda .....	108
Tabla 5.12 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta Monocristalinos .....	111
Tabla 5.13 Cálculos viabilidad económica monocristalinos campus Balzay .....	112
Tabla 5.14 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta policristalinos .....	113
Tabla 5.15 Cálculos viabilidad económica policristalinos Campus Balzay .....	114
Tabla 5.16 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta sistema completo.....	115
Tabla 5.17 Cálculos viabilidad económica Sistema completo Campus Balzay.....	115
Tabla 5.18 Cálculos viabilidad económica monocristalinos Vivienda.....	116
Tabla 5.19 Tabla de impuesto a la renta .....	117
Tabla 5.20 Cálculo viabilidad económica monocristalinos para impuesto a la renta 5% .....	119
Tabla 5.21 Cálculo viabilidad económica monocristalinos para impuesto a la renta 10% .....	120
Tabla 5.22 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 12%. ....	121
Tabla 5.23 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 15% .....	123
Tabla 5.24 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 20% .....	124
Tabla 5.25 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 25% .....	125
Tabla 5.26 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 30% .....	127
Tabla 5.27 Cálculos viabilidad económica policristalinos vivienda .....	128
Tabla 5.28 Cálculo viabilidad económica policristalinos para impuesto a la renta 5%.....	129
Tabla 5.29 Cálculo viabilidad económica policristalinos para impuesto a la renta 10%.....	130
Tabla 5.30 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 12% .....	132
Tabla 5.31 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 15% .....	133
Tabla 5.32 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 20% .....	134
Tabla 5.33 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 25% .....	136
Tabla 5.34 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 30% .....	137

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Javier Fernando Carpio Vintimilla en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "COMPARACIÓN DE MODELOS DE SEGUIMIENTO SOLAR Y ANÁLISIS ECONÓMICO-ELÉCTRICO DE UN SISTEMA SOLAR FIJO", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de agosto de 2021

  
\_\_\_\_\_  
Javier Fernando Carpio Vintimilla  
C.I: 0106012230



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Javier Fernando Carpio Vintimilla, autor/a del trabajo de titulación “COMPARACIÓN DE MODELOS DE SEGUIMIENTO SOLAR Y ANÁLISIS ECONÓMICO-ELÉCTRICO DE UN SISTEMA SOLAR FIJO”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 10 de agosto de 2021



Javier Fernando Carpio Vintimilla  
C.I: 0106012230



# Capítulo 1 : INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

El ser humano ha desperdiciado la energía solar, durante miles de años. El sol es un recurso material que existirá alrededor de 5 mil millones de años más, por lo tanto, se debe aprovechar esta fuente energética, para aumentar la productividad, y así evolucionar a través del tiempo. [1]

Existen diferentes tipos de energías renovables no convencionales como: solar, eólica, nuclear, y de biomasa. El estudio de este tipo de energías, es un tema relativamente nuevo, en comparación con los modelos tradicionales, sin embargo, estas energías tienen un potencial muy amplio, en su mayoría no son contaminantes y pueden llegar a ser nuestro modelo principal de captación de energía en los próximos años, en este estudio nos centraremos en la energía solar.

En este contexto la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes de energía renovable más utilizadas en el mundo. Los paneles fotovoltaicos no generan contaminación ambiental cuando producen energía, de igual forma no produce contaminación auditiva, son fáciles de instalar. [2]. Sin embargo, los principales inconvenientes de los sistemas fotovoltaicos son su baja eficiencia y alto costo. [3]

Los paneles solares fotovoltaicos generan electricidad mediante la conversión de la energía irradiada por el sol. Su nombre proviene de dos palabras: foto que significa “luz” y voltaico “electricidad”. Estos modelos han mejorado su efectividad de captación de energía solar debido a los avances tecnológicos. Una gran ventaja es que proporcionan una fuente de energía más limpia, que pueden ser utilizadas fácilmente en los hogares. [4]

Ante este antecedente, los sistemas de seguimiento solar fotovoltaico son una de las alternativas más utilizadas para maximizar la recolección de energía de los paneles solares fotovoltaicos, la principal función de los sistemas de seguimiento solar es mantener perpendicular el panel fotovoltaico con la radiación solar, se han demostrado que los sistemas de seguimiento mejoran la generación de energía fotovoltaica entre un 10% a 50% de efectividad, como desventaja, se tiene que estos sistemas representan una importante porción del costo del sistema, ante este inconveniente debido que aumentará su costo de instalación con la creación de un modelo mecánico-electrónico que realice el seguimiento. [5]

Los sistemas de seguimiento solar se clasifican, según su mecanismo en dos tipos principales: seguidores pasivos y seguidores activos, se pueden implementar utilizando estructuras mecánicas y eléctricas, para los seguidores activos se pueden clasificar: [6]

- Un modelo de seguimiento de un eje tanto para seguimiento horizontal (HSAT) por sus siglas *Horizontal Solar Axis Tracking*, y vertical (VSAT) por sus siglas *Vertical Solar Axis Tracking*; el seguidor HSAT se utiliza para dar seguimiento al sol de norte a sur, el VSAT da seguimiento de este a oeste. [6]

- Un modelo de seguimiento de dos ejes norte, sur, este, oeste (DAST), por sus siglas *Double Axis Solar Tracking*, lo cual genera una potencia adicional al sistema. [6]

## 1.2 Antecedentes

Debido al avance tecnológico en el área de las energías renovables, es fundamental conocer y empezar a brindar espacio como parte de nuestro sistema eléctrico a este tipo de energías que pueden aportar beneficios energéticos y económicos para las viviendas. Uno de los principales problemas que afectan es su baja eficiencia, a la vez que representa una inversión inicial fuerte por sus costos altos de equipos ya sean paneles fotovoltaicos, instalaciones, baterías, etc. Los usuarios al presentarse este problema prefieren mantener el consumo energéticos común en lugar de acceder a un nuevo tipo de sistemas energéticos.

En [6] se presenta un documento sobre el uso de los sistemas de seguimiento solar, que pueden aumentar la eficiencia de recolección del sol de 10% a 100% en diferentes épocas del año y diferentes condiciones geográficas. Este trabajo detalla varios métodos de seguimiento, el resultado reveló que el sistema con seguimiento es más eficiente en comparación con un sistema solar fijo.

Los autores de [7] implementaron un sistema inteligente automatizado de control de seguimiento solar diseñado para aumentar la eficiencia de producción de energía solar. El método propuesto para detectar la nubosidad permite que el sistema se adapte a diversas condiciones climáticas en tiempo real cambiando el ángulo del panel solar. El estudio mostró que, en caso de una fuerte dispersión de la radiación solar en clima nublado, los paneles horizontales instalados son más efectivos, que los paneles rastreadores que se orientan con precisión al Sol. El algoritmo para determinar la posición del panel solar se basa en la trayectoria conocida del Sol durante todo el año. Este guarda en la tarjeta de memoria y monitorea las corrientes de salida de pequeños paneles solares integrados en el sistema. Cuando aumenta la nubosidad, la corriente de salida de un pequeño módulo horizontal solar excederá la corriente del módulo orientado al Sol.

## 1.3 Alcance

El desarrollo del tema de titulación propone cuantizar de qué manera aumenta la captación energética en la ciudad de Cuenca a través del uso y estudio de distintas técnicas de seguimiento solar de acuerdo a la denuncia, todo esto se logrará mediante el análisis de los datos recopilados sobre los recursos energéticos, la evaluación técnica de estos modelos de seguimiento.

De igual manera se pretende realizar un estudio económico para implementar un sistema fotovoltaico, de esta manera con el análisis de datos que brinda la universidad se podrá brevemente concluir si resulta beneficioso este tipo de sistemas como fuente de energía.

En **este trabajo se evaluará** modelos de seguimiento de luz solar, para determinar el más efectivo, y cuantizar su mejora de eficiencia con respecto a un panel solar fijo. Para evaluar los modelos se construirán tres estructuras: un seguidor de un eje este oeste, el segundo de dos ejes para los distintos puntos cardinales norte, sur, este y oeste, y el tercero un modelo fijo. Se desarrollará mediciones de la energía captada a través de micro células solares con el objetivo de analizar el mejor sistema de seguimiento solar.

Además, **este trabajo realizará** un análisis económico, de cuanto capital estarían dispuestas las personas a invertir en sus viviendas a través de encuestas, para esto es necesario verificar con paneles solares de sistema fijo, cuánto ahorro se produce en las facturas eléctricas, a través de los datos proporcionados por el laboratorio de energía renovable de la Universidad de Cuenca.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general.

Diseñar e implementar un prototipo compacto, inteligente y automatizado para la captación de energía solar, a la vez de la factibilidad económica para comprobar si el proyecto es desarrollable para la economía ecuatoriana.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio del estado del arte y de la técnica en relación con captación de energía solar, algoritmos de seguimiento solar y prototipos desarrollados.
- Diseñar, construir un prototipo de modelo solar fijo y de seguimiento tanto para un eje como para dos ejes.
- Realizar mediciones diarias de cada modelo de seguimiento solar durante 60 días, con el fin de obtener la mayor cantidad de datos correspondientes en distintos momentos climáticos.
- Realizar comparaciones de los estados de captación de energía solar en diferentes momentos climáticos, para después a partir de los resultados demostrar el mejor modelo de seguimiento.
- Realizar un estudio de mercado con sus respectivas limitantes económicas, sociales, para conocer si es factible su desarrollo en viviendas o en industrias.

## 1.5 Metodología del Trabajo Experimental

En primer lugar, se realizará el estudio del estado del arte a profundidad en relación con captación de energía solar y algoritmos de seguimiento solar, tantos temas técnicos, de prototipos desarrollados en distintos lugares que tienen un avance significativo en energía solar, térmica, fotovoltaica con respecto a Ecuador.

Luego de realizar el estudio, se diseñará y construirá un prototipo de seguimiento solar tanto para un eje y dos ejes, esto con el fin de comprobar los estudios desarrollados para conseguir el modelo más eficiente energéticamente.

Una vez realizado el diseño, se realizará mediciones diarias de cada modelo de seguimiento solar correspondientes, de modo de analizar el comportamiento energético en distintos momentos climáticos, para poder analizar la varianza energética para días con intensidad solar alta, media, baja, etc.

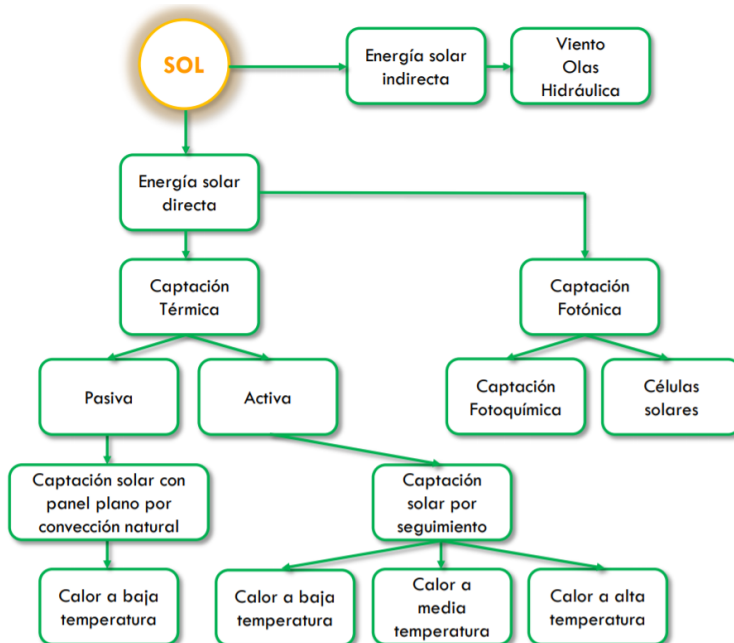
Después de las mediciones, se realizará comparaciones de los estados de captación de energía solar, sea para cada seguidor de eje, para momentos climáticos.

## Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta una revisión teórica de los conceptos relacionados con el desarrollo del trabajo. Se inicia describiendo los aspectos generales de la energía solar (Sección 2.1). Luego se menciona de manera más detallada las características y funcionamiento del efecto fotovoltaico (Sección 2.2), luego se presenta de manera detallada el efecto de la radiación solar (Sección 2.3), posteriormente se detalla el funcionamiento de los paneles y de los sistemas de seguimiento solar (Sección 2.4, Sección 2.5 y Sección 2.7). Finalmente se aborda un sistema solar fijo, todas sus características técnicas, los materiales y componentes necesarios para su funcionamiento en inmuebles a la vez que se detallan varios aspectos económicos (Sección 2.6 y Sección 2.8).

### 2.1 Energía Solar

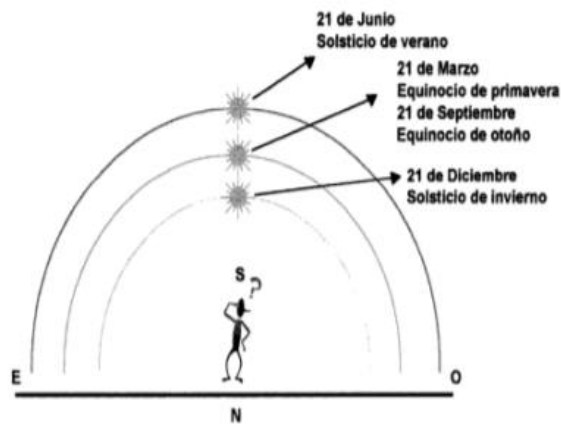
La energía solar es la energía producida por el sol y que es convertida en energía útil por el ser humano, generalmente esta energía solar se la transforma en electricidad a través de un efecto fotovoltaico, hoy en día, el calor y la luz del Sol pueden aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los actuales problemas más urgentes que afrontan los seres vivos. [8] Existen varias maneras de obtener energía solar como, se presenta en la *Figura 2.1*:



**Figura 2.1 Formas obtención de energía solar**

Fuente: <http://orion.unex.es:8001/rid=1LDD295FR-23978Q1-282G/Presentacion%20fotovoltaica.pdf>

En el ecuador terrestre, la radiación será constante a lo largo del año, pero si nos desplazamos hacia el norte o sur de la línea del ecuador, la radiación cambiará durante el año. Si se trata del hemisferio norte, en los días más cercanos al solsticio de verano, la radiación será mayor (máxima anual el día 22 de junio), mientras que en los más próximos al solsticio de invierno será menor (mínimo el 22 de diciembre). En cuanto al hemisferio sur ocurre totalmente lo contrario, ocasionándose la máxima anual el 22 de diciembre y la mínima el 22 de junio en la *Figura 2.2* se muestra las variaciones de altura y grados del sol. [9]



**Figura 2.2** Altura y grados solares en diferentes etapas del año en los 4 ejes cardinales.

*Fuente: Méndez, Cuervo, & S.A.U. (2008)*

## **Ventajas de la utilización de la energía solar como recurso**

Las ventajas de utilizar la energía solar como recurso para producir directamente energía eléctrica se pueden resumir en:

- Gran potencial, ya que la energía solar que podemos captar no está limitada, además de disponer de superficie necesaria para cubrir varias veces la totalidad de nuestra demanda energética.
- Un balance de energía positivo, puesto que genera dependiendo de las tecnologías y situación de las instalaciones, entre diez y veinte veces más energía de la que fue necesaria para producirlas.
- Su presencia a lo largo y ancho de toda la superficie terrestre hace posible la ubicación de sistemas fotovoltaicos en cualquier lugar. En función de la latitud, producirá más o menos electricidad, pero siempre se obtendrá energía a pesar de contar con niveles mínimos de luz solar.
- Una gran sencillez y fiabilidad, pudiendo ofrecer garantías de funcionamiento de varias décadas.
- La vida útil de los generadores fotovoltaicos es elevada y exige un mantenimiento mínimo en costes, tiempo y especialización profesional, puesto que puede instalarse de forma que un particular se encargue de ello.

- Una gran versatilidad, dado que se puede usar en pequeñas aplicaciones, como es el caso de un cargador portátil o una calculadora, o en grandes plantas con decenas de hectáreas.
- Un gran modularidad, puesto que la potencia y tensión necesarias, se alcanzan con tan sólo añadir módulos. En el caso de querer 1 KW (Kilo vatio), se conectan en promedio cinco o seis módulos, y si se trata de 10 MW (Mega vatio), se conectan, del mismo modo, 50.000 o 60.000 módulos, cabe destacar que los inversores de voltaje se incrementan proporcionalmente con los módulos solares que tenga el sistema.
- Una producción máxima al mediodía, momento en el que la demanda de energía es mayor. Con ello se aplanan los picos de la demanda, se reduce el precio de la energía eléctrica y se necesitan menores inversiones en las redes eléctricas de distribución.
- Una gran solución para el suministro de electricidad a zonas remotas o rurales aisladas de la red eléctrica, siendo el único recurso de energía aprovechable en muchos lugares. En casos como en las aplicaciones espaciales se trata de la solución más óptima.
- Una enorme facilidad para integrar los paneles solares en los edificios, sustituyendo los materiales constructivos por elementos generadores de energía eléctrica limpia y creando diseños arquitectónicos innovadores. [9]

### **Inconvenientes de la utilización de la energía solar como recurso**

El aprovechamiento y uso del recurso solar con el fin de generar directamente energía eléctrica, tiene sus inconvenientes, al igual que ocurre con los otros recursos renovables.

- Baja densidad energética obtenida por parte del recurso, ya que requiere una gran superficie en posible competencia con otros usos. Un kilómetro cuadrado puede abarcar una potencia entre 10 y 17 MWp (Mega vatio pico) en función de parámetros como son la latitud y pérdidas por sombreado.
- Bajo rendimiento en el proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica.
- Generación discontinua de electricidad causado por la propia naturaleza de la fuente de energía (día-noche).
- Teniendo en cuenta el factor anterior, en sistemas aislados se necesita una capacidad mayor de almacenamiento de energía, para poder satisfacer los consumos nocturnos.
- Posibilidad de cambios drásticos en la producción de electricidad causados por la aleatoriedad de la climatología.
- Debido al coste de la inversión de una instalación fotovoltaica, muchas veces su implantación depende de las primas a la producción concedidas por las entidades gubernamentales y otras subvenciones. [9]

## **2.2 Efecto fotovoltaico**

El Efecto Fotovoltaico es el proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.

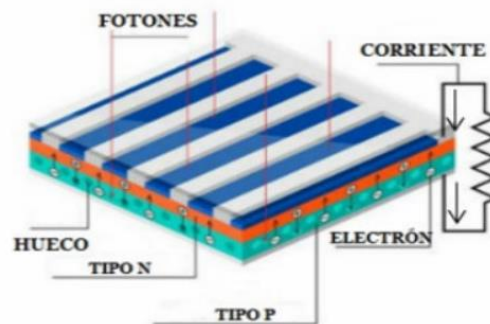
Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica estos pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad.

Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula fotovoltaica. Cuando esto sucede el electrón se libera de su posición natural y empieza a formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. [10]

### 2.2.1 Células Fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas como se muestran en la *Figura 2.3* son las encargadas de absorber la energía de los fotones, en la composición de una célula fotovoltaica podemos encontrar las capas de semiconductores, en estas capas se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes (tipo p y tipo n) que forman un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican partir de materiales semiconductores, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la temperatura.

En la actualidad no existe un tipo de material ideal para este tipo de células y sus aplicaciones, a su vez las células fotovoltaicas poseen una malla metálica para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. [10]



**Figura 2.3 Efecto Fotovoltaico en una célula.**

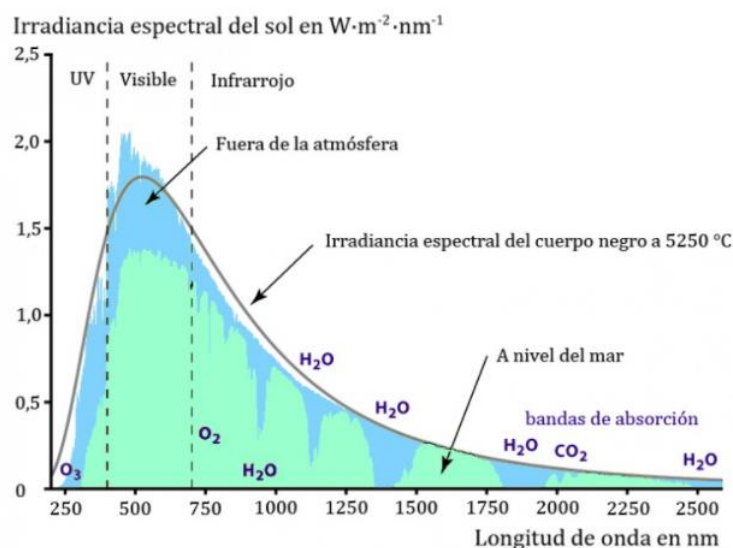
Fuente: <https://www.laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico/>

Estas células conectadas unas con otras sobre una estructura soporte o marco, conforman un panel fotovoltaico. Estos paneles están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V), los paneles fotovoltaicos producen corriente continua (DC) para que estos se puedan transformar en una fuente de energía es necesario un sistema fotovoltaico dependiendo la aplicación requerida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos cuando o conectados a la red eléctrica.



## 2.3 Radiación Solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como una fuente de energía siguiendo la ley de Planck, este actúa como cuerpo negro este emite una temperatura de unos 5726 °C. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. Cuando esta radiación alcanza la corteza terrestre las ondas ultravioletas de longitud de onda más corta son absorbidas por la atmósfera terrestre. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el  $\text{W/m}^2$  (vatio por metro cuadrado).



**Figura 2.4 Irradiancia espectral del sol en el planeta Tierra**

Fuente: [https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Irradiaci%C3%B3n\\_solar/](https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Irradiaci%C3%B3n_solar/)

### 2.3.1 Generación de la Radiación Solar

El sol es la estrella más cercana a la tierra y está catalogada como una estrella enana amarilla. Sus regiones interiores son totalmente inaccesibles para el ser humano, en esos lugares ocurren temperaturas de unos 20 millones de grados Celsius necesarios para producir las reacciones nucleares que producen su energía. La capa más externa que es la que produce casi toda la radiación observada se llama fotosfera y tiene una temperatura de 5726 °C. [11]

Su ancho aproximadamente oscila entre 200 y 300 km. Por encima de ella está la cromosfera con una anchura de unos 15.000 Km. Más exterior aún es la corona solar, una parte muy tenue y caliente que se extiende varios millones de kilómetros y que sólo es visible durante los eclipses

solares totales. La superficie de la fotosfera aparece conformada de un gran número de gránulos brillantes producidos por las células de convección. También aparecen fenómenos cíclicos que conforman la actividad solar como manchas solares, fáculas, protuberancias solares, etc.

Estos procesos que tienen lugar a diferentes profundidades, van acompañados siempre de una emisión de energía que se superpone a la principal emisión de la fotosfera y que hace que el sol se aleje ligeramente en su emisión de energía del cuerpo negro a cortas longitudes de onda por la emisión de rayos X y a largas longitudes por los fenómenos nombrados, destacando que no es la emisión igual cuando el sol está en calma que activo. Además, la cromosfera y corona absorben y emiten radiación que se superpone a la principal fuente que es la fotosfera. [11]

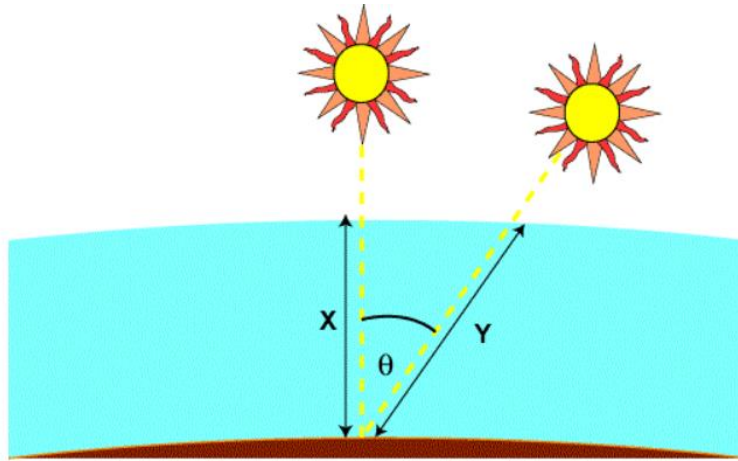
Está radiación solar generada incidente en una superficie terrestre, esta se manifiesta de tres maneras diferentes de las cuales:

- La radiación directa es, como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.
- La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor que la radiación directa.
- La radiación reflejada es, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo.

### 2.3.2 Masa de Aire

La masa de aire es la longitud del camino tomado por la luz a través de la atmósfera normalizado a la ruta más corta posible como se muestra en la *Figura 2.5*. La masa de aire cuantifica la reducción en la potencia de la luz a medida que pasa a través de la atmósfera y es absorbido por el aire y el polvo. La masa de aire se define como:

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} [30]$$



**Figura 2.5 Masa de aire representa la proporción de la atmósfera que la luz debe atravesar antes de golpear la Tierra**

*Fuente: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/masa-de-aire>*

Dónde  $\theta$  es el ángulo de la vertical (ángulo cenital). Cuando el sol está directamente vertical, la masa de aire es 1. [30]

La eficiencia de una célula solar es sensible a las variaciones en la potencia y el espectro de la luz incidente. Para facilitar una comparación exacta entre las células solares medidas en diferentes momentos y lugares, se ha definido una densidad del espectro y la potencia estándar tanto para la radiación fuera de la atmósfera de la Tierra como para la superficie de la Tierra. [30]

El espectro estándar en la superficie de la Tierra se llama AM1.5G, (la G significa mundial e incluye la radiación directa y difusa) o AM1.5D (que incluye sólo la radiación directa). La intensidad de la radiación AM1.5D se puede aproximar mediante la reducción del espectro AM0 en un 28% (18% debido a la absorción y el 10% a la dispersión). El espectro global es 10% más alto que el espectro directo. Estos cálculos dan aproximadamente  $970 \text{ W} / \text{m}^2$  para AM1.5G. Sin embargo, el espectro AM1.5G estándar ha sido normalizado para dar  $1 \text{ kW} / \text{m}^2$  debido a la conveniencia de un número redondo y el hecho de que haya variaciones inherentes en la radiación solar incidente. El espectro estándar fuera de la atmósfera de la Tierra se llama AM0, porque en ningún momento la luz pasa a través de la atmósfera. Este espectro se utiliza típicamente para predecir el rendimiento esperado de las células en el espacio. [30]

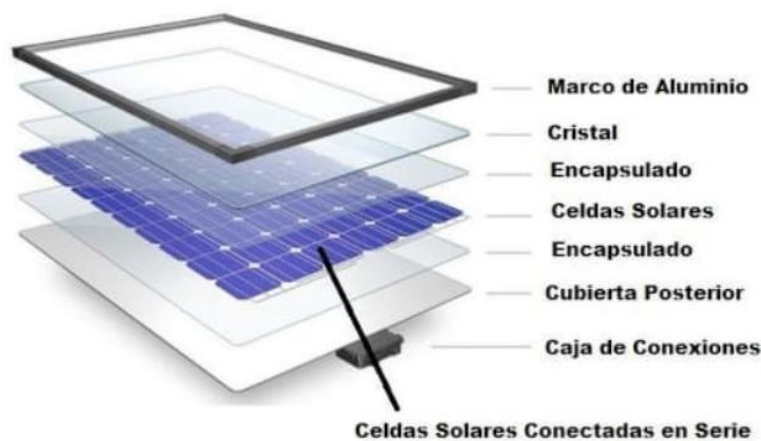
### 2.3.3 Distribución espectral de la radiación solar

La aplicación de la Ley de Planck al sol con una temperatura superficial de unos  $5726^\circ\text{C}$  conlleva que el 99% de la radiación emitida está entre longitudes de onda 0,15 micrómetros o micras y 4 micras. Como 1 ángstrom (Å) es equivalente a decir  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ , resulta que el sol emite un rango de 1500 Å hasta 4000 Å. La luz visible se extiende desde 4000 Å a 7000 Å. La radiación ultravioleta

u ondas cortas iría desde los 1500Å a los 4000Å y la radiación infrarroja u ondas largas desde las 0,74 micras a 4 micras. La atmósfera de la tierra constituye un importante filtro que hace inobservables radiaciones de longitud de onda inferior a las 0,29 micras por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Ello libraría de la radiación ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, lo cual no afecta a la radiación solar, pero si a la energía emitida por la tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se conoce como efecto invernadero. Pero la emisión solar difiere de la de un cuerpo negro sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779 °C y en el visible. Se trata de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y se observa la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía. [12]

## 2.4 El panel solar fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico es el conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. La forma física del panel está estructurada de tal manera, que la célula este protegido tanto mecánicamente como eléctricamente ante agentes externos, en la *Figura 2.6* se muestra el recubrimiento de los paneles solares.



**Figura 2.6 Partes de un panel solar fotovoltaico.**

Fuente: <https://news.soliclima.com/>

Existen parámetros estandarizados para clasificar a los paneles solares fotovoltaicos según su potencia este parámetro se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, a continuación, conoceremos estos parámetros característicos.

### 2.4.1 Parámetros característicos y eléctricos de los paneles fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos vienen referenciados a una serie de parámetros estandarizados los cuales se presentan a continuación:

- **Radiación solar  $1000 \text{ W/m}^2$ .**
- **Temperatura de la célula  $25^\circ\text{C}$  (no temperatura ambiente).**
- **Distribución espectral de la radiación incidente.**

La razón de referenciar cualquier célula fotovoltaica a estos parámetros es para indicar que generara la potencia pico de diseño solo si alcanza los valores antes mencionados. Como la temperatura y la radiación solar son oscilantes los módulos generaran valores distintos cada día. Dentro de los parámetros eléctricos que proporciona el fabricante los más relevantes son:

- **Corriente de Iluminación  $I_L$ :** Es la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
  - **Tensión de circuito abierto  $V_{oc}$ :** La máxima tensión que se obtiene en los extremos de la placa solar al no estar conectado ninguna carga.
  - **Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ :** Máximo valor de corriente que puede circular sobre la placa.
  - **Kilovatio pico (kWp):** es la unidad de medida usada para comparar el rendimiento de los distintos sistemas de energía solar fotovoltaica, especifica la capacidad de un sistema fotovoltaico para generar energía en su punto de máximo rendimiento; por ejemplo, al mediodía en un día soleado. Cuanto mayor es el valor de kWp, mayor es la eficiencia del sistema.
  - **Kilovatio hora (kWh):** El kilovatio hora (kWh) es la unidad que expresa la relación entre energía y tiempo, se usa generalmente para la facturación del consumo eléctrico domiciliario, se refiere la cantidad de energía que se desarrolla durante una hora con una potencia de un kilovatio.
- [10]

### 2.4.2 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

Los problemas actuales que surgen de los paneles solares fotovoltaicos radican en la eficiencia energética, la máxima eficiencia energética alcanzada, medible por un panel solar fue de 22%, teóricamente estos paneles están creados para alcanzar una eficiencia de 33%, en la actualidad la eficiencia energética es el mayor problema de estos paneles, [13] Existen algunos aspectos que afectan a los materiales semiconductores: [13]

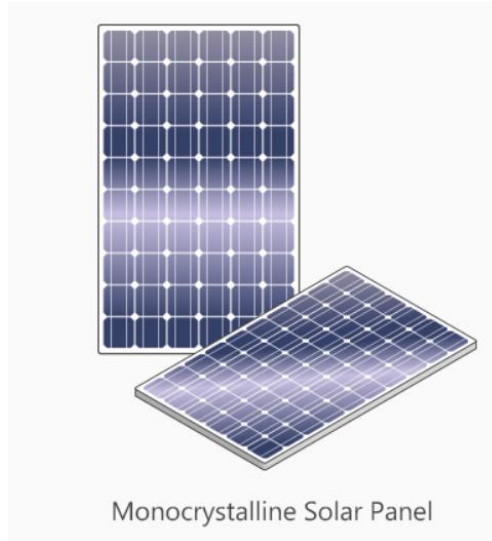
Tabla 2.1 Aspectos que afectan a los semiconductores  
Fuente: Méndez, Cuervo, & S.A.U. (2008)

<b>Cristalinidad</b>	Indica la ordenación de los átomos en la estructura cristalina. El silicio, como otros materiales, puede aparecer en varias formas: monocristalino, policristalino o amorfo.
<b>Coefficiente de Absorción</b>	Indica cómo la luz lejana, que tiene una longitud de onda específica, puede penetrar el material antes de ser absorbida. Un coeficiente de absorción pequeño significa que la luz no es absorbida fácilmente por el material. Depende de dos factores: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material que hay encima de la célula: tiene que tener un mínimo coeficiente de absorción.</li> <li>- Longitud de onda o energía de la luz que es absorbida. Las células de silicio cristalino son de un espesor grande ya que tienen un coeficiente de absorción de la luz incidente relativamente reducido.</li> </ul>
<b>Coste y Complejidad de Fabricación</b>	Varían dependiendo del material o materiales utilizados en las capas del semiconductor según los factores: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deposición en diversos compartimientos.</li> <li>- Necesidad de trabajar en un ambiente determinado.</li> <li>- Cantidad y tipo de material utilizado.</li> <li>- Número de pasos implicados.</li> <li>- Necesidad de mover las células.</li> </ul>

Lo más relevante de una célula solar son las capas del material semiconductor, puesto que en ellas se liberan los electrones y se genera la electricidad. Para la creación de las diferentes células se usan distintos materiales semiconductores, se presenta a continuación los paneles más usados actualmente en el mercado:

#### *a) Paneles solares monocristalinos*

Construidos a partir de un único cristal de silicio cortados de tal forma en filas y columnas como se muestra en la *Figura 2.7*.



**Figura 2.7 Panel Solar Monocristalino.**

*Fuente:* <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>

***b) Paneles solares policristalinos***

Los paneles solares policristalinos tienen células solares que contienen múltiples fragmentos cristalinos de silicio, como se muestra en la *Figura 2.8*.



**Figura 2.8 Panel Solar Policristalino.**

*Fuente:* <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>

### c) Paneles solares de capa fina

Los paneles solares de capa fina llamados células solares de segunda generación, se pueden hacer de una gran variedad de materiales, incluyendo: Silicio amorfo, Arseniuro de galio, Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS), Teluro de cadmio (CdTe), como se muestra en la *Figura 2.9*.



**Figura 2.9 Panel Solar de capa Fina.**

Fuente: <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>

A continuación, se presenta la *Tabla 2.2* donde se muestra resumen de los paneles solares más usados en la actualidad en el mercado: [13]

*Tabla 2.2 Resumen de paneles solares*

Fuente: <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>

Tipo de Panel Solar	Material	Eficiencia	Costo	Apariencia
Monocrystalino	Cristal de silicio puro y único	Alta(18% o un poco más)	Más alto	Células negras i azul oscuro con esquinas redondeadas.
Policristalino	Fragmento de silicio	Media 15-17%	Alto	Células azules rectangulares.
Capa fina	Varios	Baja 11% pero puede llegar a 15%	Más bajo	Superficie uniforme negra o azul



Todos estos tipos de paneles solares mencionados se les conoce como mono faciales, en la actualidad se están desarrollando varios estudios tecnológicos los principales objetivos que se pretenden alcanzar en la posterioridad son: incremento de la eficiencia energética, disminución del costo de los materiales, incrementar la longevidad de los sistemas solares, y, por último, pero no menos importante mejorar la apariencia estética, entre esas actuales células fotovoltaicas tenemos:

### ***-Paneles solares bifaciales***

Los paneles solares bifaciales son una de las últimas tendencias en la industria fotovoltaica. De hecho, a diferencia de las células mono faciales las cuales ya fueron mencionadas, las células bifaciales son sensibles a la luz en ambos lados. En la cubierta posterior de las células fotovoltaicas mono faciales, la superficie posterior está cubierta con aluminio. En los módulos fotovoltaicos bifaciales se usa también el esquema de dedos en la cubierta posterior de modo que el sol puede alcanzar la parte trasera. La bifacialidad se define como la relación entre la eficiencia del lado posterior y la eficiencia del lado frontal, medida en condiciones de prueba estándar. A diferencia de la lámina posterior opaca que se incluye en el panel solar mono facial, los bifaciales están fabricados con una lámina posterior transparente o de vidrio templado doble. Los paneles bifaciales, enmarcados o sin marco, generalmente están hechos de células monocristalinas, pero también se puede usar policristalino. [31]



**Figura 2.10 Panel Solares Bifaciales.**

*Fuente:* <https://arquitectura-sostenible.es/paneles-solares-bifaciales/>

### ***Ventajas:***

Los módulos solares bifaciales ofrecen unas ventajas únicas sobre los paneles solares tradicionales:

- Mejor rendimiento en proyectos de tamaño similar, más producción con un coste de instalación apenas mayor, por lo que el LCOE (costo nivelado de la energía) reduce.

- Optimización para proyectos en sitios con alto albedo (desiertos con arena, techos blancos, grava, etc.)
- Sinergia entre la exposición posterior y una mejor ventilación.
- Interés estético (barreras, toldos, pérgolas) [31]

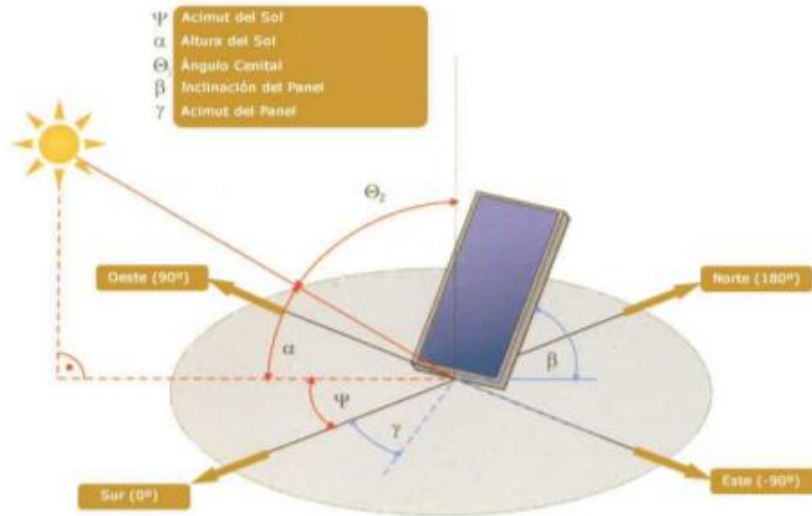
## 2.5 Sistemas de Seguimiento solar

Los sistemas de seguimiento solar son dispositivos para maximizar la energía recogida por el panel solar fotovoltaico cuyo propósito es mantener el panel fotovoltaico perpendicular a la radiación solar incidente. La potencia máxima se puede extraer del panel fotovoltaico cuando el ángulo de inclinación del panel está sincronizado con los cambios diarios y estacionales de los movimientos del sol. Muchos investigadores han demostrado que los seguidores solares maximizan la generación de energía fotovoltaica (10% -50%). Sin embargo, equipar el panel fotovoltaico con un seguidor solar seguramente aumentará el costo del sistema, aproximadamente un 30%. En este sentido, es necesario un compromiso entre eficiencia y costo para que los sistemas de seguimiento solar sean competitivos con los sistemas solares fotovoltaicos fijos. [14] [39]

En este contexto para el cálculo de una instalación solar fotovoltaica es indispensable conocer la irradiación solar en el plano y la trayectoria del sol en las distintas temporadas del año, la cual, viene determinada por el azimut y la altura del sol.

### 2.5.1 Geometría Solar

El azimut es el ángulo que forma un cuerpo con el norte respecto a la proyección horizontal del cuerpo. La orientación es definida mediante el azimut solar  $\Psi$  y el azimut del panel  $\gamma$ . En la *Figura 2.11* se muestra la geometría solar. Donde  $\alpha$  es el ángulo formado por la posición aparente del sol y la horizontal al lugar de aplicación, el ángulo  $\beta$  es la inclinación del módulo. La posición del sol con respecto a un punto fijo es diferente a lo largo del día.

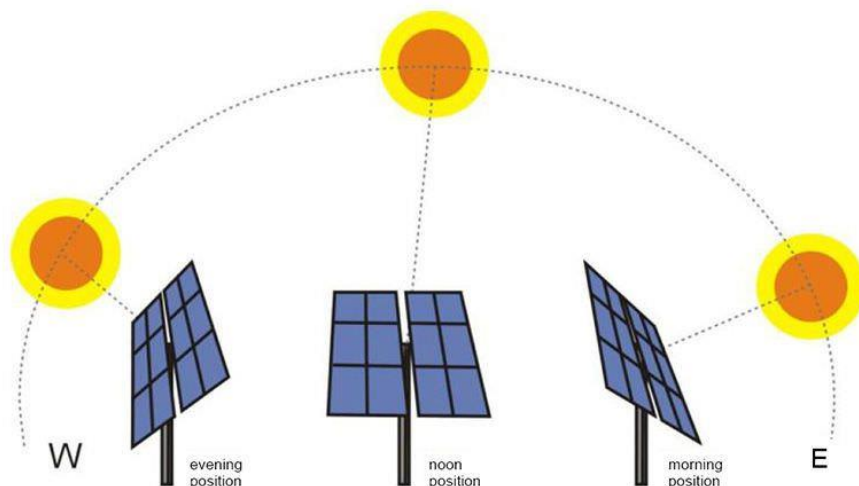


**Figura 2.11 Geometría del sol con respecto al panel solar.**

Fuente: [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com)

## 2.5.2 Tipos de sistemas de seguimiento solar

Los seguidores solares se pueden clasificar, según los mecanismos de seguimiento, en dos tipos principales: seguidores pasivos (mecanismo mecánico) y seguidores activos (mecanismo eléctrico). Ambos se pueden implementar utilizando estructuras de seguimiento de un eje o de dos ejes. En general, el seguidor solar de un solo eje SAST (*Single Axis Solar Tracker*), en la *Figura 2.12* se muestra un sistema de seguimiento solar de un solo eje, que tiene un grado de libertad sigue el movimiento del sol en una dirección; puede ser un seguidor horizontal de un eje HSAT (*Horizontal Axis Solar Tracker*), [15] o un seguidor vertical de un solo eje VSAT (*Vertical Axis Solar Tracker*). [16]



**Figura 2.12 Sistema de seguimiento solar de un solo eje.**

*Fuente:* <https://es.digitreducer.com/>

El HSAT se usa para rastrear el sol hacia el sur y el norte, que es la ruta estacional del sol, mientras que VSAT se usa para rastrear el sol hacia el este y el oeste, que es la ruta diaria del sol. Para obtener una ganancia de potencia adicional, se utiliza DAST (*Double Axis Solar Tracker*) que tiene tanto eje vertical como horizontal es el tipo de seguimiento ideal que se requiere para este tipo de sistemas de seguimiento esto hace que sea el mejor de los seguidores, pero de igual manera su implementación resulta un poco más costosa que un sistema fijo y un SAST. Su rendimiento es mayor en un 30-40% con respecto al fijo, y entre 15-20% con respecto al SAST en la *Figura 2.13* se presenta un sistema de seguimiento solar implementada en la Universidad de Cuenca. [17]



**Figura 2.13 Sistema de seguimiento solar de dos ejes.**

*Fuente: Fotos propias*

Los seguidores pasivos (PT) utilizan gas comprimido para mover el panel. Dependiendo de la diferencia en la luz solar que cae sobre los contenedores de gas montados en los lados este y oeste del panel fotovoltaico, se crea una diferencia en la presión del gas y luego se mueve el rastreador hasta que alcanza una posición de equilibrio, en la *Figura 2.14* se puede apreciar este tipo de sistema de seguimiento solar, este tipo de seguimiento es simple porque funciona sin controles electrónicos ni motores. Sin embargo, su precisión es limitada y no puede funcionar a baja temperatura. [18]



**Figura 2.14 Sistema de seguimiento solar pasivo.**

*Fuente: Clifford MJ, Eastwood D (2004)*

Por otro lado, los seguidores activos (AT) utilizan componentes eléctricos para dirigir los paneles fotovoltaicos hacia el sol. La ventaja de estos en comparación con los PT es que tienen una mejor precisión de seguimiento. Los AT se pueden clasificar en dos categorías principales según su funcionamiento principal: seguidores solares astronómicos y basados en sensores. Los rastreadores solares astronómicos funcionan según enfoques que calculan la posición del sol a partir de ecuaciones geométricas y astronómicas predefinidas. [19]

Por ejemplo, en [20] diseñaron e implementaron un sistema DAST que depende de una base de datos creada a partir del cálculo de la elevación solar y el azimut basado en el sistema TDT. Como se indicó este enfoque ha aumentado la potencia de salida en un 26% en comparación con el panel solar fotovoltaico fijo. Sin embargo, este enfoque de seguimiento requiere una intervención manual para cambiar la latitud, la fecha local y la zona horaria del sitio.

En [21] se implementó un sistema de bucle abierto DAST que puede posicionarse automáticamente mediante el uso de un sensor GPS y un algoritmo de trayectoria del sol; se obtuvo un 26,9% más de producción de energía. El sistema propuesto puede funcionar sin la intervención del usuario y se puede implementar en cualquier ubicación. Sin embargo, este sistema es muy caro debido al uso de muchos componentes, incluidos dos motores de CC, codificador, GPS, dos actuadores y tres microcontroladores. Generalmente, la implementación de tales sistemas es más compleja debido a los complejos algoritmos utilizados que requieren cálculos extensos.

Por otro lado, los seguidores solares basados en sensores utilizan ampliamente sensores de luz como fotorresistores (LDR), fotodiodos, células solares, pirómetros para seguir instantáneamente el movimiento del sol. Los sensores más utilizados son los LDR en vista de su circuito simple y precio muy bajo. Por estas razones, muchos investigadores han utilizado este tipo de sensores en sus sistemas. [22]

Estos sistemas de seguimiento utilizan dos o cuatro sensores LDR, según la estructura de seguimiento (SAST o DAST), que detectan el rayo de sol y proporcionan señales de retorno a un controlador (microcontroladores, PLC u otros), que a su vez alinea el panel a través de uno o dos motores perpendicularmente con los rayos de sol altos. Sin embargo, la mayoría de los trabajos anteriores no tienen en cuenta la influencia del circuito del sensor LDR en la mejora de la precisión del seguimiento. Dado que el circuito del sensor LDR está diseñado como un divisor de voltaje, LDR en serie con una resistencia fija, esta última debe estar bien elegida para que pueda proporcionar un voltaje de salida que cubra las condiciones soleadas, despejadas y nubladas.

Además, recientemente se han introducido nuevos métodos para el seguimiento solar, utilizando inteligencia artificial (IA) como lógica difusa (FL) [24], redes neuronales (NN) [23] y neuro-difusa (NF) [25].

Por ejemplo, en [26] se diseñó e implementó un sistema de seguimiento solar basado en un controlador de lógica difusa (FL). Este sistema puede recolectar aproximadamente un 24% más de energía que un panel fijo. Se utilizaron dos sensores LDR para detectar la luz del sol y se conectaron a una placa FPGA en la que se implementa el controlador FL. Luego, un motor paso a paso, controlado por FPGA, gira el panel fotovoltaico hasta que está perpendicular al rayo de sol. Sin embargo, la realización de sistemas de seguimiento solar basados en métodos IA como FL,



NN o NF no es fácil debido al uso de algoritmos complejos que requieren cálculos extensos, y debe implementarse en placas integradas que exigen flexibilidad (lenguajes de nivel superior), memoria grande y computación de alta velocidad, como FPGA o DSP. Esto encarece el sistema de seguimiento solar.

## **2.6 Sistema Fotovoltaico Fijo en inmuebles**

El objetivo de la instalación solar fotovoltaica es de producir energía eléctrica a través de la energía solar. Las aplicaciones que se da a la energía solar son incalculables existen aplicaciones con la energía solar desde alimentar una simple calculadora, hasta estaciones aeroespaciales. Pero sin embargo la principal aplicación que se da a la energía solar fotovoltaica, es la de producir energía eléctrica para los inmuebles, muchas de las veces conjuntamente con los sistemas de distribución tradicionales, muy pocos casos se utiliza un sistema autónomo alimentado únicamente por energía solar, por lo tanto, estos sistemas fotovoltaicos fijos se diferencian por dos tipos de instalaciones:

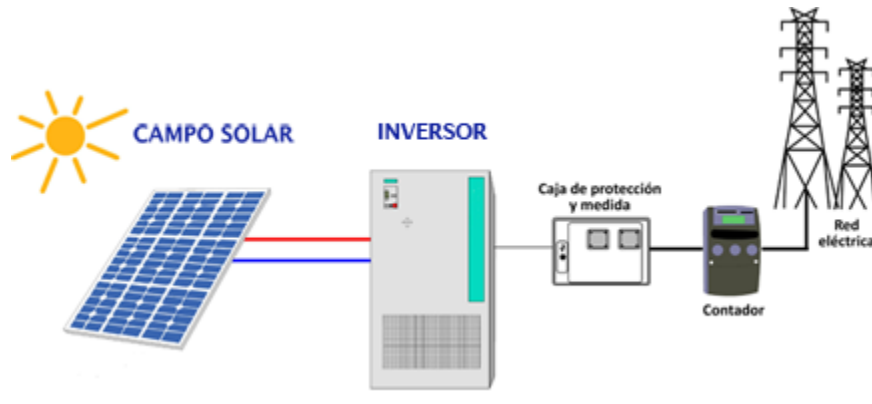
- Las de conexión a la red eléctrica que directamente las plantas de generación de energía solar fotovoltaicas se comportan como un sistema productor de energía entregando toda su generación a las empresas de distribución.
- Las aisladas a la red que son usadas para el autoconsumo y podrían almacenar la energía producida en un banco de baterías, estas son útiles donde la red eléctrica de distribución no dispone cobertura de servicio en la zona de estudio.

Más de un 90% de los generadores fotovoltaicos están conectados a la red de distribución eléctrica y vierten a ella su producción energética. Esto evita que instalaciones que necesiten baterías y constituyen una aplicación más directa y eficiente de la tecnología. Ya hay cientos de miles de sistemas fotovoltaicos conectados a la red que demuestran que la conexión a red es técnicamente factible y muy fiable. En países como Alemania, Japón o EE.UU., un número cada vez más de personas y empresas están interesadas en instalar un sistema fotovoltaico y conectado a la red. Las motivaciones para dar un paso semejante son diversas, algunos lo hacen para ganar dinero con la venta de la electricidad solar; otros para ahorrar electricidad en los picos de demanda o para dar estabilidad al consumo si el suministro que reciben es inestable; muchos otros justifican en todo o parte la inversión por conciencia ambiental. En todos los casos existe la motivación de contribuir al desarrollo de esta tecnología limpia. Para la conexión a red se utiliza un inversor que convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna. [10]

### **2.6.1 Instalaciones conectadas a la red de distribución.**

La energía producida por los paneles solares puede ser introducida directamente en la red eléctrica, formando conjuntamente un generador eléctrico, de esta manera da un beneficio ya que se convierte en una solución viable que no contamina debido que utilizan recursos locales que ya existen. El consumo de energía es independiente de lo que se genera, es decir, la empresa oferente

de distribución abastece la demanda de la carga al precio establecido, el usuario tiene una fuente generadora donde el kilovatio-hora producido es mayor. Algunos ejemplos de estos tipos de sistemas son las instalaciones en tejados, terrazas, plantas de producción y edificios, en la *Figura 2.15* se puede visualizar un esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución.



**Figura 2.15 Sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución**

*Fuente:* <https://www.energiasolar.lat/rentabilidad-fotovoltaica/>

Como se muestra en la *Figura 2.15* un sistema fotovoltaico consta de varios elementos los cuales detallamos a continuación:

#### **a) Generadores fotovoltaicos**

Es el conjunto de paneles solares fotovoltaicos conectados en serie o paralelo, según disponga el sistema que son los encargados de convertir la energía solar en energía eléctrica, esta es producida en forma de corriente directa (CD) que es directamente proporcional a la radiación del sol.

#### **b) Inversor**

Un inversor de un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución es un dispositivo electrónico de potencia, capaz de transformar la corriente continua (CC) proveniente de los paneles solares fotovoltaicos en corriente alterna (CA). Esta corriente alterna puede ser inyectada en la red eléctrica o en el caso de un edificio ser consumida directamente. [27]

Existe gran variedad de inversores, pero todos ellos deben cumplir con las normas de seguridad y protección a las personas, los equipos y la red eléctrica. Existen tres características que definen el comportamiento de un inversor:

- *Rendimiento:* Cociente entre la potencia activa suministrada por el inversor y la potencia continua que recibe. Los valores máximos de rendimiento se encuentran entre el 90 y el 95%. [27]
- *Seguimiento del punto de máxima potencia:* se denomina así a una estrategia de control con la que el inversor trata de mantener al generador trabajando en el punto de máxima



potencia. Su finalidad consiste en buscar el máximo aprovechamiento posible de la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos, alguna desventaja de este seguimiento se da en la existencia de sombras que dificultan el comportamiento normal. [27]

- *Calidad de la onda:* debe cumplir las exigencias que se recogen en la normativa. Los valores de frecuencia y tensión que se deben mantener dentro de los límites impuestos por cada región en el sistema de distribución. La distorsión armónica total también cuenta con un límite máximo para la señal de corriente y otro para la de tensión. El desfase existente entre ambas señales debe ser de tal forma que el factor de potencia de la onda se encuentre lo más cercano a la unidad. [27]

### c) Protecciones

Las protecciones son parte fundamental de todo circuito eléctrico en este caso para un sistema de paneles fotovoltaicos es de suma importancia, este permite brindar una seguridad tanto a las personas como a los equipos, las usadas en los sistemas fotovoltaicos son:

- Los varistores (variable resistor) es un componente electrónico cuya resistencia óhmica disminuye cuando la tensión eléctrica que se le aplica aumenta; son fabricados básicamente con óxido de zinc y dependiendo del fabricante se le añaden otros materiales para agregarle las características no lineales deseables. El material se comprime para formar discos de diferente tamaño y se le agrega un contacto metálico a cada lado para su conexión eléctrica. Se utiliza para proteger los componentes más sensibles de los circuitos contra variaciones bruscas de voltaje o picos de corriente que pueden ser originados, entre otros, por relámpagos conmutaciones y ruido eléctrico, como se muestra en la *Figura 2.16* en la parte izquierda.
- Fusibles: que son los que permiten aislar al grupo de paneles de sobre intensidades de corriente altas, con el objetivo de que estas corrientes no dañen los paneles solares fotovoltaicos, como se muestra en la *Figura 2.16* en la parte derecha.
- Seccionador de corte en carga que permite aislar al inversor del campo fotovoltaico.



**Figura 2.16 Protecciones de sistemas fotovoltaicos (Varistor, Fusible)**

Fuente: <https://www.smartgridsinfo.es//>

#### ***d) Contador***

Se necesita contadores de energía con características particulares: estos deben poder contabilizar la energía de forma bidireccional, es decir, se debe cuantificar la energía que se genera e inyecta en la red y también consumo del sistema ante la reducción o ausencia de la radiación solar.

### **2.6.2 Instalaciones aisladas a la red de distribución**

Este tipo de sistemas aislados a la red de distribución tiene como objetivo principal cubrir parcial o totalmente la demanda de energía eléctrica, este tipo de sistemas son útiles en lugares que la red de distribución tiene dificultades para su acceso. En este caso, normalmente se cuenta con sistemas de acumulación de energía, puesto que sin ellos tan sólo se puede disponer de la energía durante el día, siendo demandada tanto de día como de noche. Por ello, el dimensionamiento debe estar pensado para que, durante el día, pueda ser capaz no sólo de alimentar la carga, sino también la dotar de energía a las baterías para que se pueden utilizar en las noches. [28]

Las aplicaciones de este tipo de sistemas se las puede dividir en dos grandes grupos:

**a) Espaciales:** proporcionan electricidad en aquellos elementos situados en el espacio gracias al ser humano, como es el caso de la Estación Espacial Internacional, los satélites de comunicaciones, etc.

**b) Terrestres:** donde destacan las aplicaciones usadas comúnmente en varias áreas profesionales como las siguientes:

- Telecomunicaciones: telefonía rural, vía radio; repetidores (de telefonía, televisión, etc.)
- Electrificación de zonas rurales y aisladas: instalaciones las cuales se pueden realizar en cualquier sitio. Están pensadas para regiones y países en desarrollo y todas aquellas zonas donde no existe acceso a la red eléctrica comercial: viviendas aisladas, de ocupación periódica o permanente, refugios en la montaña, etc. En determinados países como ocurre en Cuba o Brasil, se emplean en edificios comunitarios (centros médicos, escuelas) o para abastecer de energía eléctrica a un determinado grupo de personas (un pueblo, una aldea, etc.)
- Señalización: se utiliza, por ejemplo, en señales de tráfico luminosas con diodos LED, alimentados por un panel solar y una batería.
- Alumbrado público: empleado en zonas en las que es complicado llevar una línea eléctrica convencional.
- Bombeo de agua: estas instalaciones están pensadas para lugares tales como granjas, huertos, etc. Se pueden realizar en cualquier lugar. Su uso puede ser tanto para agua potable como para riego.

- Redes VSAT: redes privadas de comunicación (para una empresa, un organismo oficial, etc.) que actúan a través de satélite. La energía solar se utiliza para alimentar las estaciones de la red.

- Telemetría: permite realizar medidas sobre variables físicas y transmitir la información a una central (por ejemplo, control de la pluviometría de la cuenca de un río). - Otras aplicaciones: juguetes, alumbrado en jardines, divertimentos, etc. [29]



**Figura 2.17 Sistema fotovoltaico aislado a la red de distribución en hogares**

Fuente: <http://vectorsrl.com.ar/>

Como se muestra en la *Figura 2.17*, los sistemas fotovoltaicos aislados constan de varios componentes los cuales presentamos a continuación:

1. *Panel Fotovoltaico*: Es el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica, en forma de corriente directa (CD) como ya se habló en la sección 2.6.1.
2. *Inversor CD/CA*: Como ya vimos en la sección 2.6.1, este dispositivo es el encargado de transformar la corriente directa (CD) en corriente alterna (CA).
3. *Banco de Baterías*: Es un dispositivo electroquímico que almacena energía eléctrica en forma de enlaces químicos entregada por los paneles durante las horas de mayor radiación para usarlo en los momentos de más baja o cero irradiancias solares.
4. *Controlador de carga*: Es el encargado en regular el flujo corriente y la tensión desde los módulos fotovoltaicos a la batería de tal manera que sobrecargas o descargas excesivas reduzcan la vida útil de las baterías.

## 2.7 Aspectos económicos de los sistemas fotovoltaicos.

En cualquier aspecto económico evaluar la conveniencia de una inversión es lo más recomendable, para evaluar estas conveniencias existen variables que nos ayudan a determinar si un proyecto es rentable o no de las cuales:

**Valor Actual Neto (VAN):** El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. El VAN lo que hace es medir los flujos de los futuros ingresos, egresos, tras medir estos campos, se descuenta la inversión inicial, si queda alguna ganancia el proyecto es viable caso contrario no lo será. También se puede utilizar para medir la viabilidad de varios proyectos y concluir cual es el más rentable de todos. Una manera de establecer el VAN es mediante la siguiente fórmula: [32]

$$VAN = \text{Beneficio neto actualizado (BNA)} - \text{Inversión}$$

El VNA es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, que ha sido actualizado mediante una tasa de descuento (k). Esta última es la tasa de rendimiento o rentabilidad mínima que se espera obtener.

- $VAN < 0$  el proyecto no es rentable. Cuando la inversión es mayor que el BNA (VAN negativo o menor que 0) significa que no se satisface la TD.
- $VAN = 0$  el proyecto es rentable, porque ya está incorporado ganancia de la TD. Cuando el VNA es igual a la inversión (VAN igual a 0) se ha cumplido con la TD.
- $VAN > 0$  el proyecto es rentable. Cuando el BNA es mayor que la inversión (VAN mayor a 0) se ha cumplido con dicha tasa y, además, se ha generado una ganancia o beneficio adicional.

**Período de recuperación de una inversión (Payback):** El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial.

Para calcular el PRI se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Payback} = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b = Inversión Inicial.

c = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión. [32]

**Tasa Interna de Retorno (TIR):** La TIR o Tasa Interna de Retorno, es la tasa de interés o rentabilidad que genera un proyecto. Esta es la encargada de medir de la rentabilidad de una inversión, es decir el porcentaje de beneficio o pérdida que tendremos, está relacionada con el VAN.

La TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

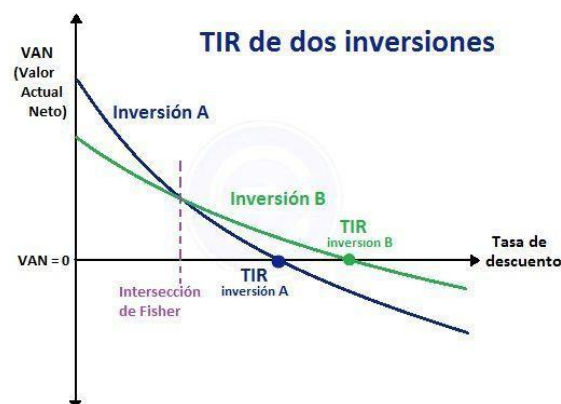
$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

De donde:

$I_0$ : Es la inversión que se realiza en el momento inicial ( $t=0$ ).

$F_t$ : Son los flujos de dinero de cada período  $t$ .

$n$ : Es el número de períodos de tiempo. [32]



**Figura 2.18 Gráfica del TIR de dos inversiones.**

Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

En la *Figura 2.18* se muestra un valor llamado tasa de descuento generalmente se le asigna la letra “k” esta variable se utiliza para el cálculo del VAN, los criterios de selección serán los siguientes:

- Si la  $TIR > k$ , se acepta el proyecto de inversión. Porque la tasa de rendimiento interno que se obtendrá será superior a la tasa mínima de rentabilidad que exige la inversión.
- Si la  $TIR = k$ , se presentaría una situación similar a la que se produce cuando el VAN es igual a cero. Aquí se podría llevar a cabo la inversión en caso de que se mejore la posición competitiva de la empresa y que no existan alternativas más favorables.
- Si la  $TIR < k$ , se debe rechazar el proyecto, ya que no se está alcanzando la rentabilidad mínima que debe poseer una inversión.

Dado lo anterior, el objetivo de una inversión focalizada en sistemas fotovoltaicos es analizar ciertas condiciones bajo las cuales una casa es sustentable en el largo plazo, para esto se debe tener ciertas condiciones que logran que un proyecto sea viable para su ejecución, estas variables a tomar en cuenta son las siguientes:

- **Localización:** Debido a la localización se puede usar los datos climatológicos anteriores de la región para poder efectuar un análisis de la radiación solar, que se podrá obtener en el lugar donde se localice el sistema fotovoltaico.
- **Promedio de personas del hogar:** Esta información es necesaria debido que, basado en cuántas personas habiten una vivienda o espacio que se desea colocar un sistema fotovoltaico, dependerá de la cantidad de elementos o materiales necesarios para la implantación del sistema.
- **Materiales necesarios:** Este punto es importante debido que se debe hacer un presupuesto, de los materiales necesarios con los precios en el mercado actual, debido que es una energía nueva los precios son muy variables, la mayoría de elementos necesarios como se mencionó en los puntos 2.6.1 y 2.6.2 dependen si el sistema es conectado o aislado a la red de distribución, en este punto importante tomar en cuenta las reinversiones y costos de operación, etc.
- **Análisis económico:** En este punto se obtiene el Valor Actual Neto (VAN), Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) y Tasa interna de Retorno (TIR), y se realiza un análisis de sensibilidad de algunas, variables relevantes, tales como el precio de la energía, valor de la inversión, costos de operación y mantenimiento.

## 2.8 Componentes electrónicos usados en prototipos de seguidores solares.

Para un prototipo de seguimiento solar, generalmente se utiliza los siguientes materiales.

- **Arduino Nano**



**Figura 2.19 Arduino nano**

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la fig. 2.18 generalmente el arduino nano se utiliza como el actuador del sistema, el componente principal, que se encarga de manejar, leer los datos, mover los paneles solares mediante los servomotores.

- **Módulo SD:**

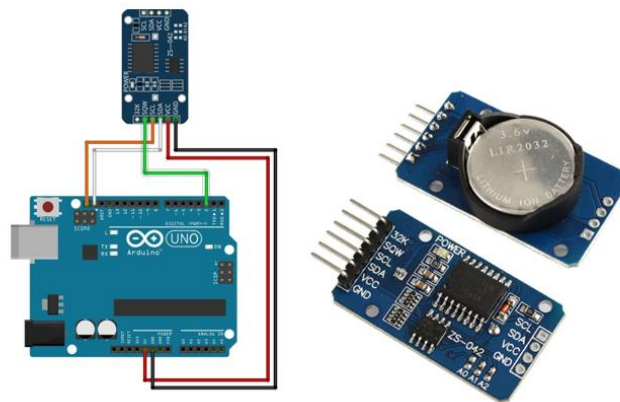


**Figura 2.20 Módulo SD.**

Fuente: <https://www.aliexpress.com/i/4001238707434.html>

Este componente de la Fig. 2.20 es el encargado de almacenar toda la información de lectura obtenida por los paneles solares.

- **Módulo RTC**



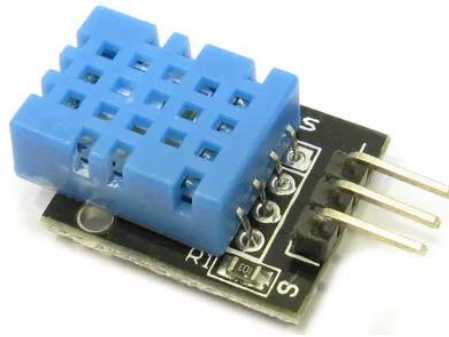
**Figura 2.21 Módulo RTC**

Fuente: <https://www.aliexpress.com/>

Este componente de la Fig. 2.21 es el encargado de sincronizar el sistema y permitir la lectura de datos cada determinado tiempo.



- Dht11



**Figura 2.22 Módulo de medición de temperatura y humedad**

*Fuente: <https://www.aliexpress.com/i/4001238707434.html/>*

La función principal de este módulo que se observa en la Fig. 2.22 es de darnos la temperatura y humedad del ambiente de la zona que se encuentre.

- Servo Motores



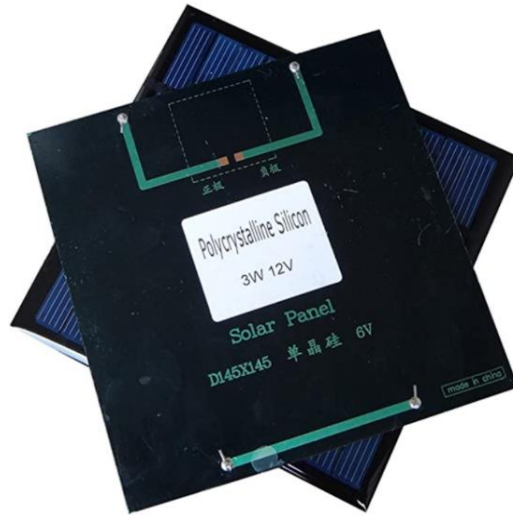
**Figura 2.23 Servomotores**

*Fuente: <https://www.aliexpress.com/i/4001238707434.html/>*

La función principal de los servomotores que se observa en la Fig. 2.23 es de proveer de rotación al panel principal hacia la dirección que se encuentre el sol.



- **Panel fotovoltaico**



**Figura 2.24 Panel Solar Policristalino.**

*Fuente:* <https://www.aliexpress.com/i/4001238707434.html>

El panel solar de la Fig. 2.24 es el encargado de obtener la energía solar, sus características técnicas son de capacidad de voltaje y corriente 12V - 250mA y su tamaño: 145x145mm.

- **Mini Panel solar**



**Figura 2.25 Mini panel solar.**

*Fuente:* <https://www.aliexpress.com/i/4001238707434.html>

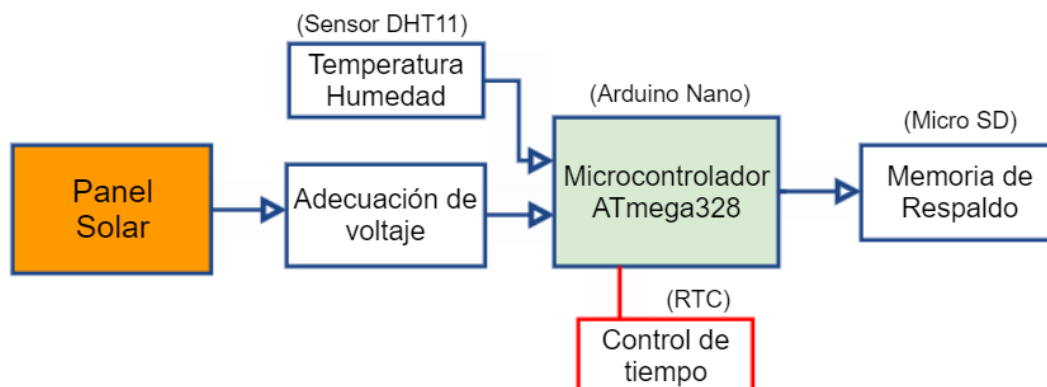
El panel solar de la Fig. 2.25 es el encargado de obtener la energía solar, para activar un actuador que gire el panel principal hacia la dirección geográfica que se encuentre la mayor radiación solar, sus características técnicas son de capacidad de voltaje y potencia 2V – 2W.

## Capítulo 3 : METODOLOGÍA Y DISEÑO DE PROTOTIPOS DE SEGUIMIENTO SOLAR

En este capítulo se detalla el desarrollo, montaje y programación de cada prototipo de seguidor solar, así tenemos el esquema que simula un sistema fijo (Sección 3.1), un seguidor solar de un solo eje (Sección 3.2), un seguidor de dos ejes (Sección 3.3) y finalmente una tabla de precios del costo de elaboración (Sección 3.4). Cabe mencionar que los algoritmos de cada tipo de seguidor fueron implementados en el entorno de software Arduino IDE.

### 3.1 Desarrollo del prototipo de seguidor solar fijo

Para este primer prototipo se aplicó la siguiente metodología tal como se muestra en el diagrama de bloques de la *Figura 3.1*, este consta de una etapa inicial donde se captura el valor de voltaje del panel solar, posteriormente se tiene una etapa de adecuación de voltaje necesaria para la correcta adaptación con en el microcontrolador Arduino, adicionalmente se realiza la lectura de temperatura y humedad, para finalmente proceder a guardar estos 3 valores más la fecha de medición en una memoria Micro SD de respaldo.



**Figura 3.1 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar fijo**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.1.1 Diseño mecánico del seguidor fijo

El diseño mecánico para el primer seguidor solar fue realizado a través de impresión 3D y mediante el uso del software CAD, Fusión 360. La estructura consta de dos partes, la base y el soporte del panel como se muestra en la *Figura 3.2*. Además, se hace uso de un perno con cuello liso para la sujeción de la base y el soporte del panel.



**Base**



**Soporte del panel**



**Diseño completo**



**Perno de sujeción**

**Figura 3.2 Diseño mecánico del seguidor solar fijo**

*Fuente: Elaboración Propia*

Para la fabricación de cada parte de la estructura se consideró los siguientes parámetros de impresión (relleno y altura de capa), como se muestra en la *Tabla 3.1*. La base tiene un relleno un 5% mayor debido a que tiene que soportar el peso del soporte, panel y perno de sujeción.

*Tabla 3.1* Parámetros de impresión para el seguidor solar fijo

*Fuente: Elaboración Propia*

<b>Parte</b>	<b>Relleno</b>	<b>Altura de capa</b>
Base	20%	0.2mm
Soporte del panel	15%	0.2mm

En la *Figura 3.3* se muestra el resultado obtenido luego de la impresión 3D, además del montaje de cada parte de la primera estructura desarrollada.

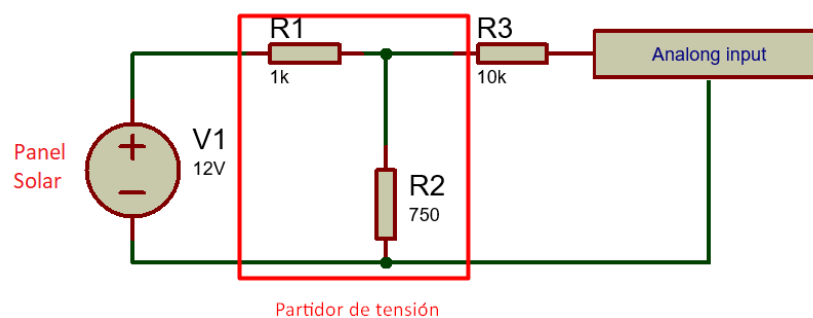


**Figura 3.3 Montaje de partes del seguidor solar fijo**  
*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.1.2 Diagrama electrónico del seguidor fijo

A partir del diseño mecánico del sistema se procede a desarrollo de la parte electrónica, que integra tanto la adecuación del panel solar, adaptación de sensores e integración con el microcontrolador. Los elementos electrónicos que conforman el sistema fijo son: el panel solar, microcontrolador Arduino Nano, sensor DHT11, módulo RTC DS323, módulo lector de microSD y fuente de alimentación del sistema.

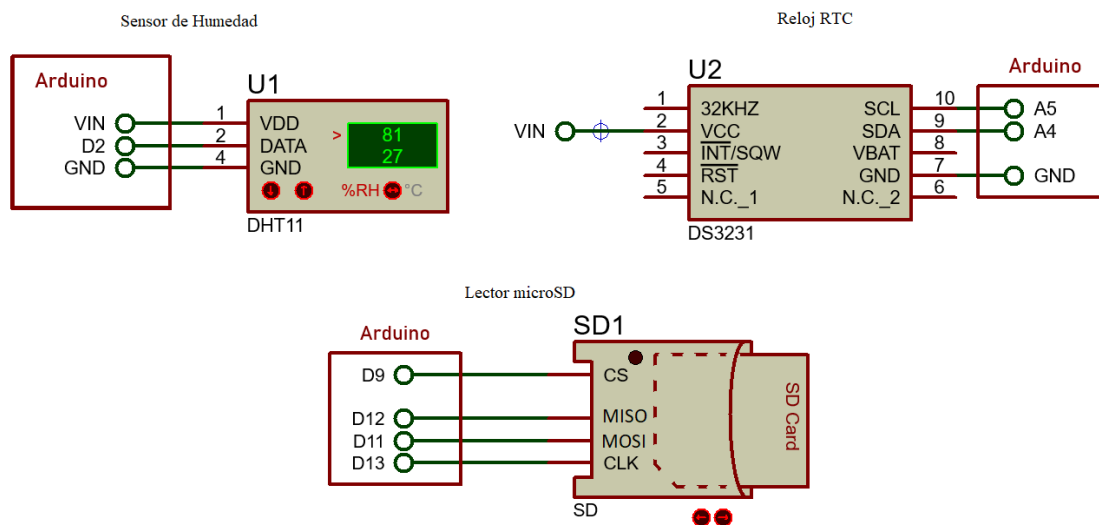
- Adecuación de voltaje panel solar: Previo a la conexión del panel solar con el módulo Arduino es necesario realizar la adecuación de la señal, para esto se considera que el panel solar puede entregar máximo un voltaje de 12V-250mA, y que el Arduino en su puerto analógico toma como nivel de referencia 5V, además de considerar que la corriente de entrada en cualquier puerto del I/O del Arduino debe ser de máximo 40mA [34]. En base a lo interior se implementó el siguiente circuito, tal como se muestra en la *Figura 3.4*.



**Figura 3.4 Circuito de acondicionamiento del panel solar**  
*Fuente: Elaboración Propia*

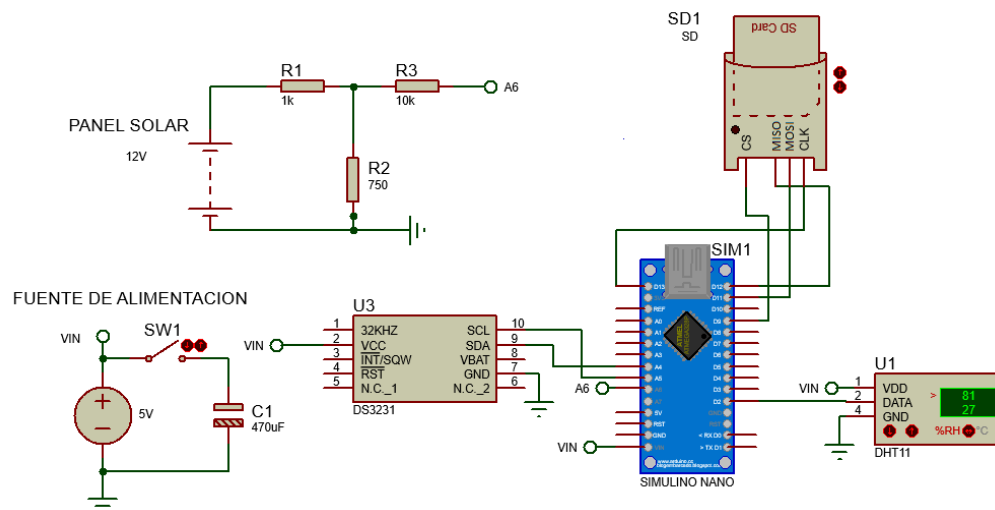
El divisor de tensión permite tener un voltaje aproximado de 5V, usando resistencias de  $R1=1K\Omega$  y  $R2=750\Omega$ , igualmente para limitar la corriente de entrada que se puede producir se utilizó una resistencia de alto valor  $R3=10K\Omega$ . Este mismo proceso de adecuación de la señal será replicado para cada uno de los seguidores de eje de las Secciones 3.2 y 3.3.

A continuación, en la *Figura 3.5* se muestra la conexión de cada elemento electrónico que conforma el diseño electrónico del seguidor fijo a los pines del módulo Arduino Nano.



**Figura 3.5 Conexión de cada elemento electrónico al módulo Arduino**  
Fuente: Elaboración Propia

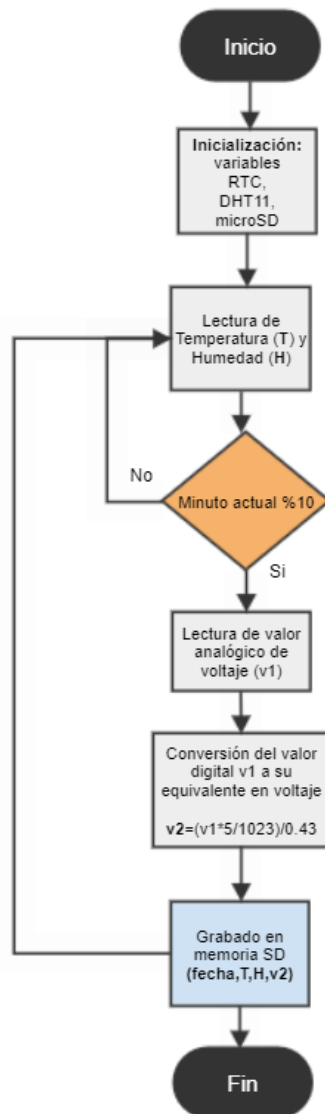
Finalmente, en la *Figura 3.6* se muestra el esquema electrónico completo implementado para el primer sistema de seguidor solar fijo, además se integra una fuente externa para la alimentación del circuito y un interruptor de encendido del sistema.



**Figura 3.6 Esquema electrónico del seguidor solar fijo**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.3 Algoritmo del seguidor fijo

Para el desarrollo del algoritmo del sistema fijo, se considera dos aspectos principales, el registro de los valores de fecha de grabación, voltaje del panel solar, temperatura y humedad cada 10 minutos, y el respaldo de estos datos en la tarjeta microSD.



**Figura 3.7 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar fijo**

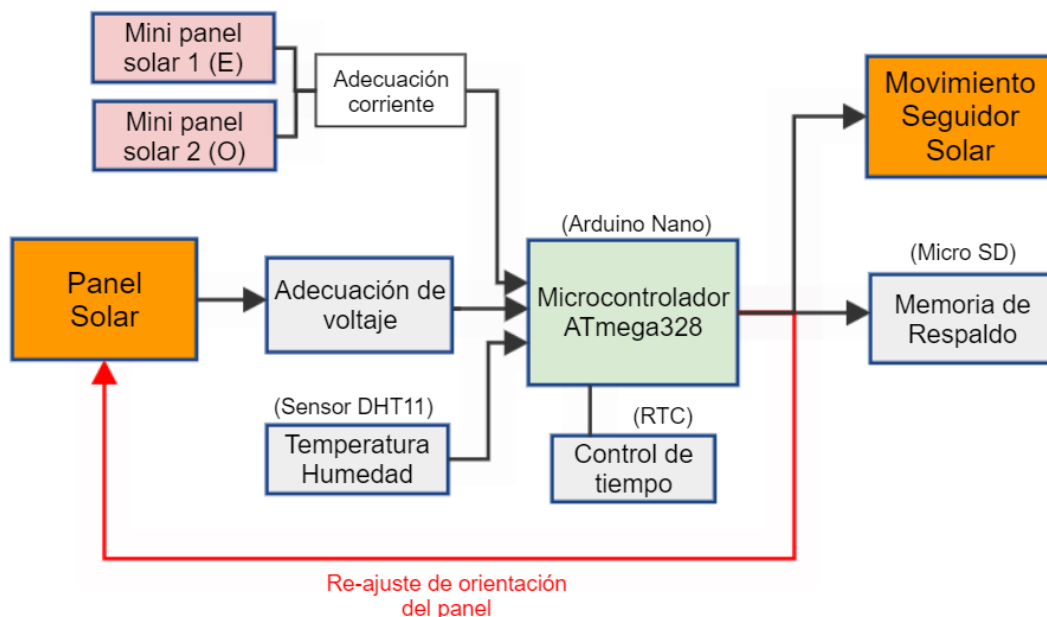
*Fuente: Elaboración Propia*

En la *Figura 3.7* se muestra el diagrama de flujo del algoritmo propuesto, como primer punto se tiene la declaración de variables y librerías de cada módulo utilizado, posteriormente en el bucle principal del programa se realiza la lectura de los valores de temperatura y humedad continuamente, hasta que se detecta mediante el módulo RTC cuando han pasado 10 minutos mediante la operación módulo, y se realiza la lectura de valor analógico del panel solar, el cual

posteriormente se convierte a su equivalente en voltaje, para finalmente proceder a guardar los valores de fecha, temperatura, humedad y voltaje en la tarjeta MicroSD.

### 3.2 Desarrollo y montaje de un prototipo del seguidor solar de un eje

Para este segundo prototipo se aplicó la siguiente metodología tal como se muestra en el diagrama de bloques de la *Figura 3.8*, este consta de una etapa inicial donde se captura el valor de voltaje del panel solar, y a continuación se tiene una etapa de adecuación de voltaje necesaria para la correcta adaptación con en el microcontrolador Arduino. Adicionalmente se integra dos mini paneles solares que forman la parte fundamental de la lógica de movimiento del seguidor solar en el sentido horizontal (Este-Oeste); tal como el primer sistema se realiza la lectura de temperatura y humedad, para finalmente proceder a guardar estos 3 valores más la fecha de medición en una memoria Micro SD de respaldo.



**Figura 3.8 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar de un eje**

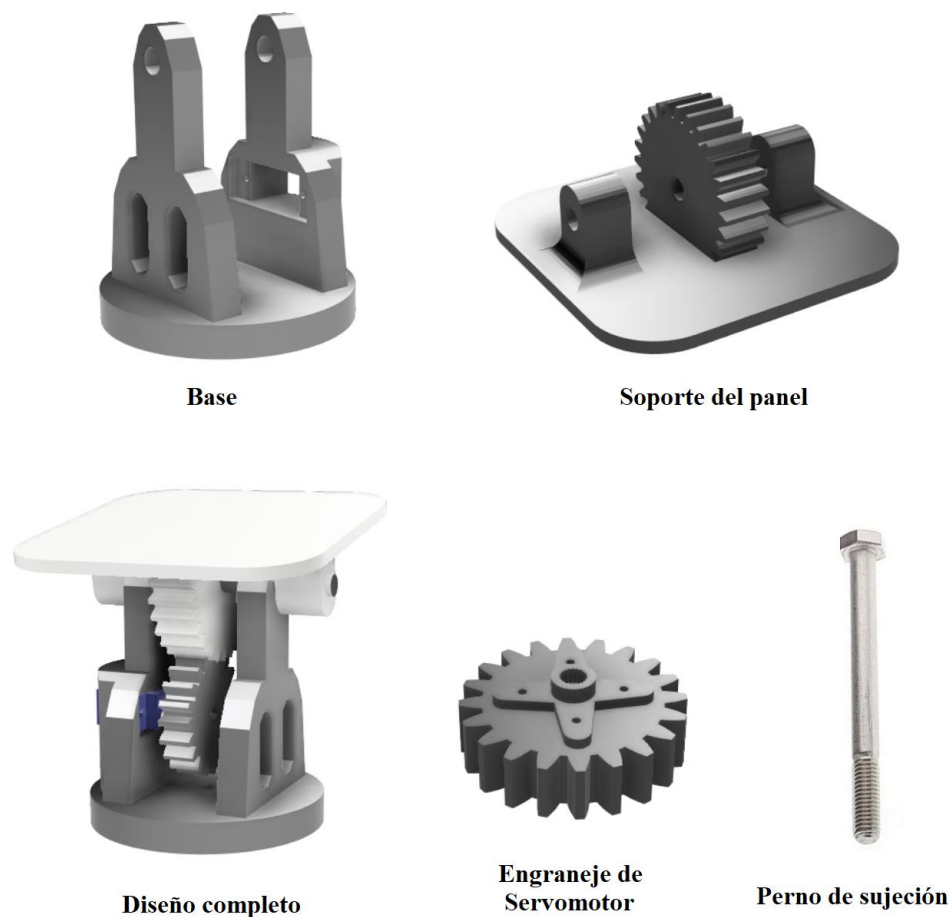
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.2.1 Diseño mecánico del seguidor de un eje

El diseño mecánico del seguidor solar de un eje fue realizado a través de impresión 3D tal como el seguidor solar fijo (*Sección 3.1.1*). La estructura consta de dos partes, la base y el soporte del panel como se muestra en la *Figura 3.9*. En este caso se hace uso del mecanismo de engranaje tanto en la base como en la estructura de soporte del panel para que a través de un servomotor se



logre el giro del seguidor solar en el sentido Este (30°) a Oeste (150°). Además, se hace uso de un perno con cuello liso para la sujeción de la base y el soporte del panel.



**Figura 3.9 Diseño mecánico del seguidor solar de un eje**

*Fuente: Elaboración Propia*

Para la fabricación de cada parte de la estructura se consideró los siguientes parámetros de impresión (relleno y altura de capa), como se muestra en la *Tabla 3.2*. En este caso el soporte del panel y la base presentan igual porcentaje de relleno debido a que el soporte tiene un engrane inferior, el cual debe ser resistente para generar la suficiente tracción con el engrane del servomotor, y permitir girar el panel de Este a Oeste. Además, el engranaje que se acopla al servomotor y se ajusta en la base debe tener un relleno superior al 80% dado que este soporta todo el torque y peso del movimiento del seguidor.

*Tabla 3.2* Parámetros de impresión para el seguidor solar de un eje

*Fuente: Elaboración Propia*

Parte	Relleno	Altura de capa
Base	20%	0.2mm
Soporte del panel	20%	0.2mm
Engranaje	90%	0.16mm

En la *Figura 3.10* se muestra el resultado obtenido luego de la impresión 3D, además del montaje de cada parte de la segunda estructura desarrollada.



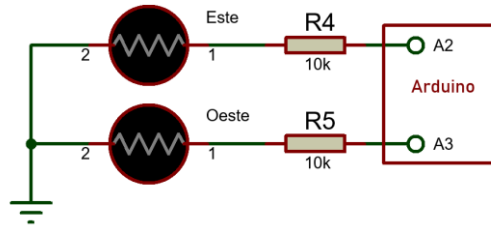
*Figura 3.10 Montaje de partes del seguidor solar de un eje*

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.2.2 Diagrama electrónico del seguidor de un eje

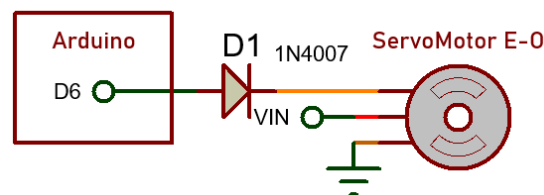
A partir del diseño mecánico del sistema se procede a desarrollo de la parte electrónica, que integra tanto la adecuación del panel solar, adaptación de mini paneles y sensores, conexión de servomotor y su integración junto con el microcontrolador. Los elementos electrónicos que conforman el sistema de un eje son: el panel solar, dos mini paneles solares, un servomotor SG90, el microcontrolador Arduino Nano, sensor DHT11, módulo RTC DS323, módulo lector de microSD y fuente de alimentación del sistema.

- Adecuación de voltaje panel solar: Para ajustar el voltaje del panel solar al módulo Arduino se realiza el mismo proceso utilizado en el seguidor fijo (*Figura 3.4*), esto garantiza tener la corriente y voltaje adecuados a la entrada del canal analógico del microcontrolador.
- Adecuación de mini paneles solares: Dado que los mini paneles solares generan un voltaje y corriente de máximo 3V 50mA, solo se necesita limitar el valor de corriente para la entrada a los puertos analógicos del Arduino, es por esto que se utiliza una resistencia de 10K $\Omega$  previo a la entrada del microcontrolador tal como se muestra en la *Figura 3.11*.



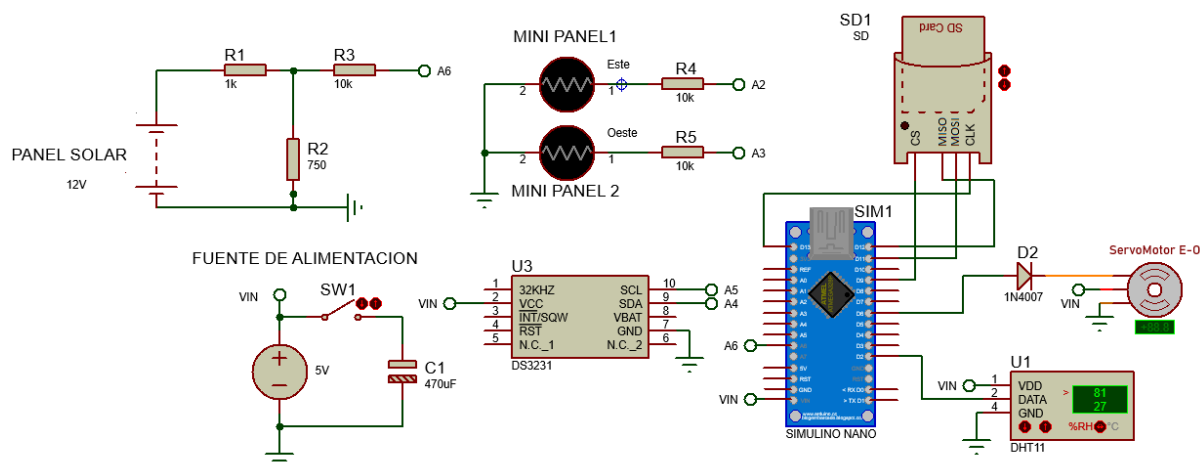
**Figura 3.11 Circuito de acondicionamiento de los mini paneles solares**  
Fuente: Elaboración Propia

Para cada módulo y sensor del circuito se realiza la misma conexión tal como se mostró en la *Figura 3.5* del seguidor solar fijo. Adicionalmente, se requiere la conexión de un servomotor que realizará el movimiento en el sentido Este-Oeste, este necesita de una entrada PWM del Arduino, en este caso usó el pin digital D6. Además, se usó un diodo rectificador 1N4007 para evitar las corrientes de retorno que puede producirse por el movimiento mecánico del servomotor y así proteger al circuito de daño tal como se muestra en la *Figura 3.12*.



**Figura 3.12 Conexión de servomotor al módulo Arduino**  
Fuente: Elaboración Propia

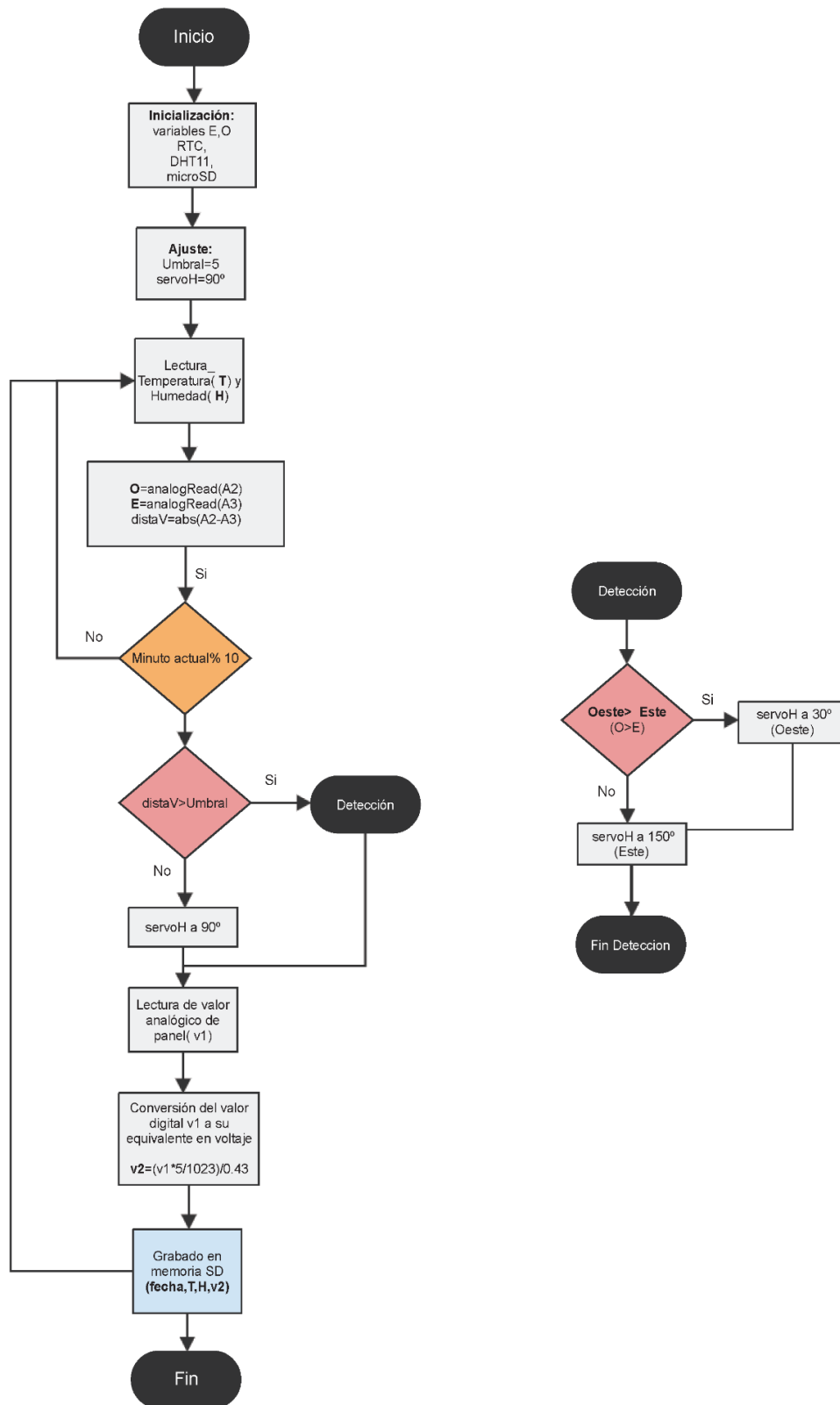
Finalmente, en la *Figura 3.13* se muestra el esquema electrónico completo implementado para el seguidor solar de un eje, además se integra una fuente externa para la alimentación del circuito y un interruptor de encendido del sistema.



**Figura 3.13 Esquema electrónico del seguidor solar de un eje**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3 Algoritmo del seguidor de un eje

Para el desarrollo del algoritmo del sistema de un eje, se considera los siguientes aspectos, la toma de decisión del giro del servomotor ya sea Este u Oeste, el registro de los valores de fecha de grabación, voltaje del panel solar, temperatura y humedad cada 10 minutos, y finalmente el respaldo de estos datos en la tarjeta microSD.

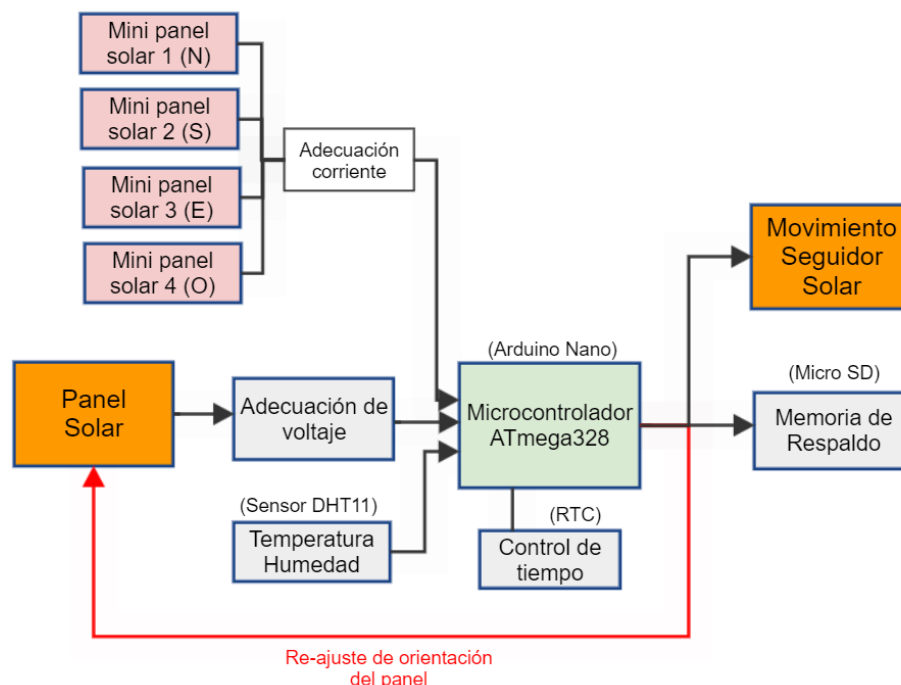


**Figura 3.14 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar de un eje**  
*Fuente: Elaboración Propia*

En la *Figura 3.14* se muestra el diagrama de flujo del algoritmo propuesto, como primer punto se tiene la declaración de variables y librerías de cada módulo utilizado, posteriormente en el bucle principal del programa se realiza la lectura de los valores de temperatura y humedad continuamente, hasta que se detecta mediante el módulo RTC cuando han pasado 10 minutos y se realiza la lectura de valor analógico del panel solar, el cuál posteriormente se convierte a su equivalente en voltaje, para finalmente proceder a guardar los valores de fecha, temperatura, humedad y voltaje en el tarjeta MicroSD.

### 3.3 Desarrollo y montaje de un prototipo de seguimiento solar de dos ejes

Para este tercer prototipo se aplicó la siguiente metodología tal como se muestra en el diagrama de bloques de la *Figura 3.15*, este consta de una etapa inicial donde se captura el valor de voltaje del panel solar, y a continuación se tiene una etapa de adecuación de voltaje necesaria para la correcta adaptación con en el microcontrolador Arduino. Adicionalmente se integra cuatro mini paneles solares para la lógica del movimiento del panel solar, dos para el movimiento en el sentido horizontal (Este-Oeste) y otros dos para el movimiento del seguidor solar en el sentido vertical (Norte-Sur); tal como los seguidores previos se realiza la lectura de temperatura y humedad, para finalmente proceder a guardar estos 3 valores más la fecha de medición en una memoria Micro SD de respaldo.

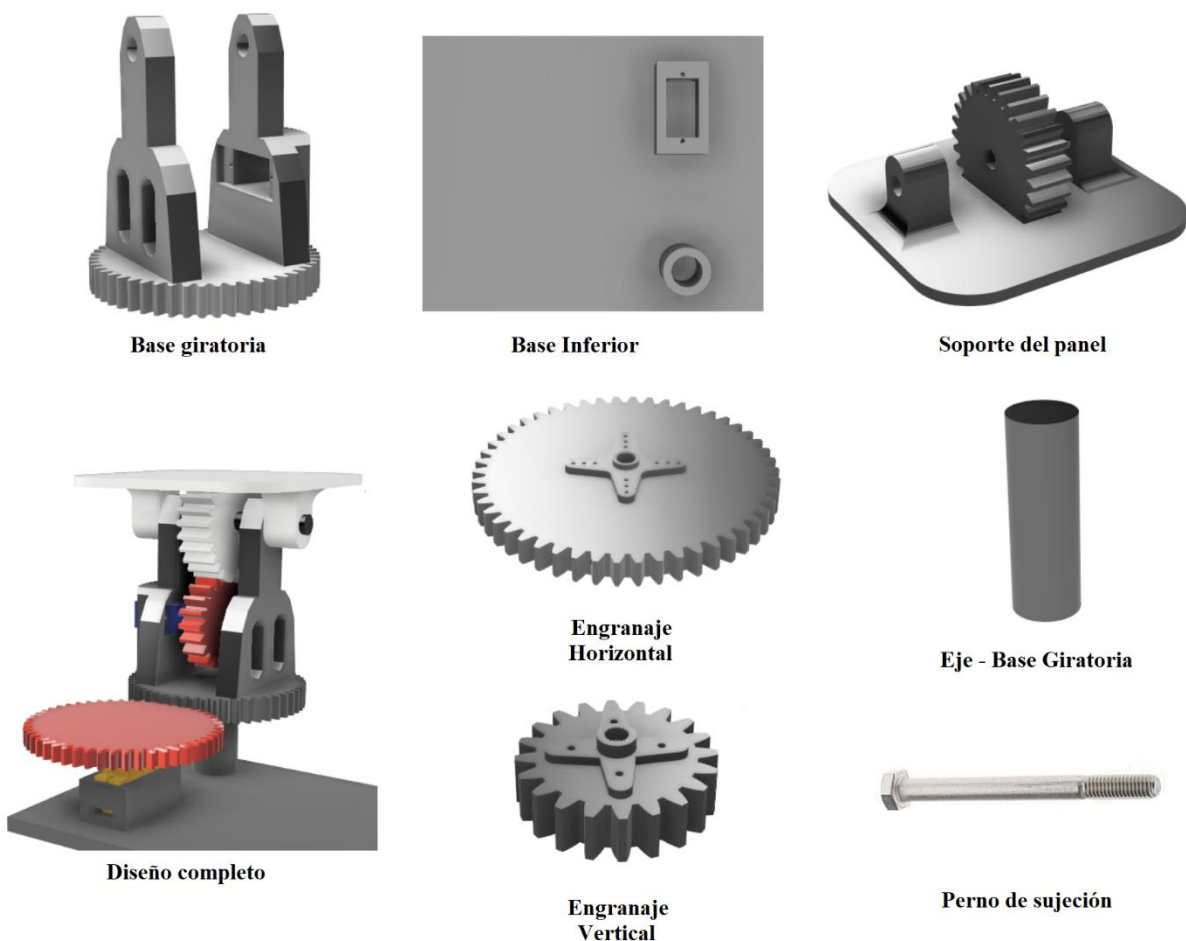


**Figura 3.15 Diagrama de bloques usado para el seguidor solar de 2 ejes**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.1 Diseño mecánico del seguidor de dos ejes

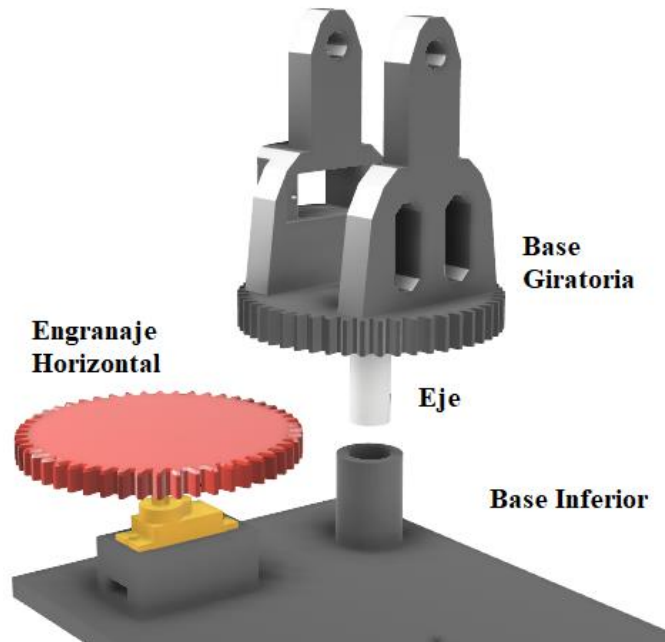
El diseño mecánico del seguidor solar de dos ejes fue realizado a través de impresión 3D tal como los seguidores previos (*Sección 3.1.1* y *Sección 3.2.1*). La estructura consta de tres partes, la base inferior, la base giratoria y el soporte del panel como se muestra en la *Figura 3.16*. En este caso se hace uso de dos engranajes, un engranaje vertical para el movimiento Norte-Sur, y un engranaje horizontal para el movimiento Este-Oeste. Cabe mencionar que el engranaje horizontal es el que permite el movimiento de la base giratoria, la cual integra un eje que le permite girar con libertad en la base inferior. Además, se hace uso de un perno con cuello liso para la sujeción de la base giratoria y el soporte del panel.



**Figura 3.16** Diseño mecánico del seguidor solar de dos ejes

*Fuente: Elaboración Propia*

La base inferior está diseñada con una apertura cilíndrica hueca donde el eje acoplado a la base giratoria se desplazará con libertad cuando el seguidor solar cambie de dirección; como se muestra en la *Figura 3.17*, además se tiene un espacio donde se ajusta el servomotor SG90 para el manejo del engranaje horizontal.



**Figura 3.17** Diseño mecánico del seguidor solar de dos ejes

*Fuente: Elaboración Propia*

Para la fabricación de cada parte de la estructura se consideró los siguientes parámetros de impresión (relleno y altura de capa), como se muestra en la *Tabla 3.3*. Dado que la base inferior solo se utiliza como guía para el eje de la base giratoria, no necesita mucho relleno a comparación de la base giratoria que tiene que ser resistente. El soporte del panel y la base giratoria presentan igual porcentaje de relleno dado que es necesario para generar la suficiente tracción con el engrane del servomotor vertical, y permitir girar el panel de Norte a Sur. Adicionalmente, para garantizar el movimiento de todo el seguidor en el sentido Este a Oeste es necesario que el engranaje horizontal tenga un relleno superior al 80% con lo cual se garantice el suficiente torque para cambiar de ejes (Horizontal-Vertical).



Tabla 3.3 Parámetros de impresión para el seguidor solar de dos ejes

Fuente: Elaboración Propia

Parte	Relleno	Altura de capa
Base inferior	15%	0.2mm
Base giratoria	20%	0.2mm
Soporte del panel	20%	0.2mm
Engranaje Horizontal	90%	0.16mm
Engranaje Vertical	90%	0.16mm
Eje de la base	50%	0.2mm

En la *Figura 3.18* se muestra el resultado obtenido luego de la impresión 3D, además del montaje de cada parte de la primera estructura desarrollada.



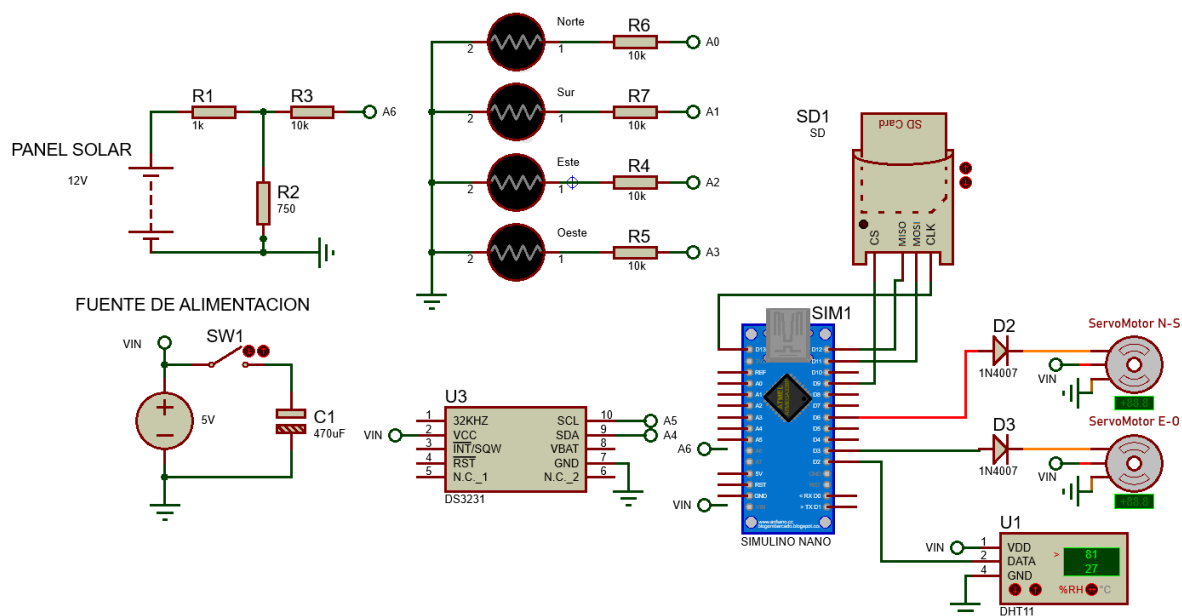
Figura 3.18 Montaje de partes del seguidor solar de dos ejes

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2 Diagrama electrónico del seguidor de dos ejes

A partir del diseño mecánico del sistema se procede a desarrollo de la parte electrónica, que integra tanto la adecuación del panel solar, adaptación de mini paneles y sensores, conexión de servomotor y su integración junto con el microcontrolador. Los elementos electrónicos que conforman el sistema de dos ejes son el panel solar, cuatro mini paneles solares para cada punto cardinal, dos servomotores SG90 y MG90, el microcontrolador Arduino Nano, sensor DHT11, módulo RTC DS323, módulo lector de microSD y fuente de alimentación del sistema.

Los circuitos de adaptación de cada módulo u sensor fueron mencionados en la *Sección 3.1.2*, así como la conexión de los 4 mini paneles solares al módulo Arduino a través de resistencias de entrada  $10K\Omega$  (*Figura 3.11*). Igualmente se tiene la conexión de dos servomotores, uno para el movimiento del sentido Norte-Sur y otro en el sentido Este-Oeste. En el siguiente diagrama (*Figura 3.19*), se presenta el diseño electrónico completo del sistema de seguimiento solar de dos ejes, además se integra una fuente externa para la alimentación del circuito y un interruptor de encendido del sistema.



**Figura 3.19 Esquema electrónico del seguidor solar de dos ejes**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 Algoritmo del seguidor de dos ejes

Para el desarrollo del algoritmo del sistema de dos ejes, se considera los siguientes aspectos, la toma de decisión del giro del servomotor ya sea en el sentido horizontal Este - Oeste o en el sentido vertical Norte – Sur, el registro de los valores de fecha de grabación, voltaje del solar, temperatura y humedad cada 10 minutos, y finalmente el respaldo de estos datos en la tarjeta microSD.

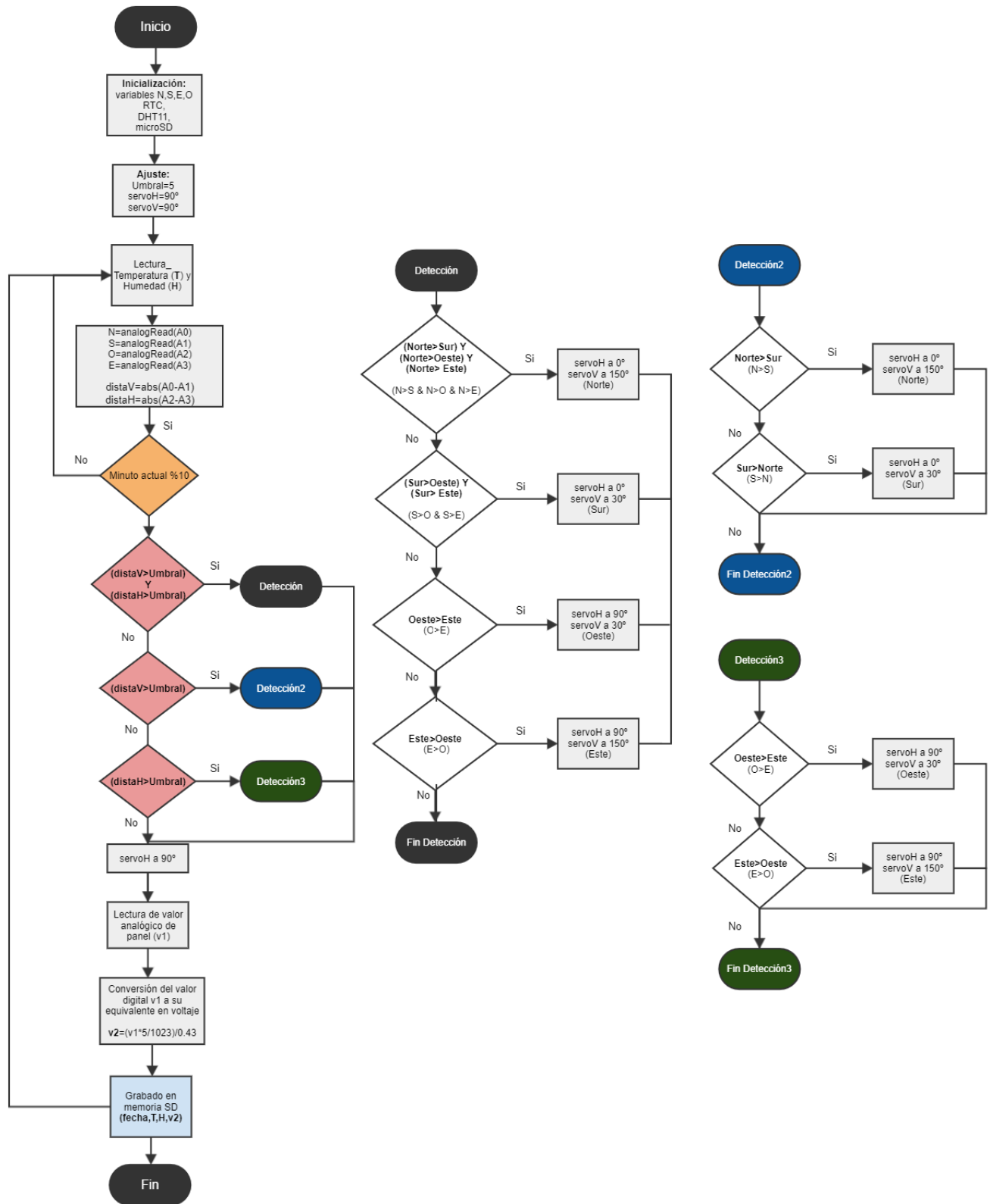


Figura 3.20 Diagrama de flujo para el algoritmo del seguidor solar de dos ejes

Fuente: Elaboración Propia

En la *Figura 3.20* se muestra el diagrama de flujo del algoritmo propuesto, como primer punto se tiene la declaración de variables y librerías de cada módulo utilizado, posteriormente en el bucle principal del programa se realiza la lectura de los valores de temperatura y humedad continuamente, hasta que se detecta mediante el módulo RTC cuando han pasado 10 minutos y se realiza la lectura de valor analógico del panel solar, el cuál posteriormente se convierte a su equivalente en voltaje, para finalmente proceder a guardar los valores de fecha, temperatura, humedad y voltaje en el tarjeta MicroSD.

### 3.4 Tabla de Costos de prototipos de seguidores solares

A continuación, se presenta la tabla 3.4 de los precios para el prototipo que simula un panel solar fijo:

*Tabla 3.4 Costos de prototipo de sistema solar fijo*  
Fuente: Elaboración Propia

	Parte	Componente	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Seguidor Solar Fijo	Física	Base	1	\$ 9,73	\$ 9,73
		Soporte del panel	1	\$ 5,07	\$ 5,07
		Perno de sujeción	1	\$ 0,15	\$ 0,15
	Electrónica	Resistencia 1K $\Omega$	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 10K $\Omega$	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 750 $\Omega$	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Capacitor 470uF	1	\$ 0,15	\$ 0,15
		Switch	1	\$ 1,00	\$ 1,00
		Arduino Nano	1	\$ 9,00	\$ 9,00
		Sensor DHT11	1	\$ 4,00	\$ 4,00
		Reloj RTC	1	\$ 4,50	\$ 4,50
		Lector microSD	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		microSD 32GB	1	\$ 7,00	\$ 7,00
		Fuente de 5V 1A	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		Panel Solar 12V	1	\$ 13,00	\$ 13,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 63,90</b>

A continuación, se presenta la tabla 3.5 de los precios para el prototipo que simula un sistema de seguimiento de un eje:

Tabla 3.5 Costos de prototipo de sistema de seguimiento de un eje.

Fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración Propia					
Seguidor Solar 1 Eje	Parte	Componente	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
	Física	Base2	1	\$ 10,12	\$ 10,12
		Soporte del panel	1	\$ 8,57	\$ 8,57
		Engrane Horizontal	1	\$ 3,73	\$ 3,73
		Perno de sujeción	1	\$ 0,15	\$ 0,15
		Pirámide - mini paneles	1	\$ 3,00	\$ 3,00
	Electrónica	Resistencia 1KΩ	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 10KΩ	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 750Ω	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Capacitor 470uF	1	\$ 0,15	\$ 0,15
		Switch	1	\$ 1,00	\$ 1,00
		Arduino Nano	1	\$ 9,00	\$ 9,00
		Servomotor SG90	1	\$ 8,00	\$ 8,00
		Sensor DHT11	1	\$ 4,00	\$ 4,00
		Reloj RTC	1	\$ 4,50	\$ 4,50
		Lector microSD	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		microSD 32GB	1	\$ 7,00	\$ 7,00
		Fuente de 5V 1A	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		Mini paneles 3V	2	\$ 3,50	\$ 7,00
		Panel Solar 12V	1	\$ 13,00	\$ 13,00
				TOTAL	\$ 89,52

A continuación, se presenta la tabla 3.6 de los precios para el prototipo que simula un sistema de seguimiento de dos ejes:

Tabla 3.6 Costos de prototipo de sistema de seguimiento de dos eje.  
Fuente: Elaboración Propia

Seguidor Solar 2 Eje	Parte	Componente	Cantidad	C/U	C/T
	Física	Base3	1	\$ 12,60	\$ 12,60
		Soporte del panel	1	\$ 10,86	\$ 10,86
		Engrane Horizontal	1	\$ 3,73	\$ 3,73
		Engrane Vertical	1	\$ 7,66	\$ 7,66
		Eje giratorio	1	\$ 4,50	\$ 4,50
		Perno de sujeción	1	\$ 0,15	\$ 0,15
		Pirámide - mini paneles	1	\$ 3,00	\$ 3,00
	Electrónica	Resistencia 1KΩ	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 10KΩ	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Resistencia 750Ω	1	\$ 0,10	\$ 0,10
		Capacitor 470uF	1	\$ 0,15	\$ 0,15
		Switch	1	\$ 1,00	\$ 1,00
		Arduino Nano	1	\$ 9,00	\$ 9,00
		Servomotor SG90	2	\$ 8,00	\$ 16,00
		Sensor DHT11	1	\$ 4,00	\$ 4,00
		Reloj RTC	1	\$ 4,50	\$ 4,50
		Lector microSD	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		microSD 32GB	1	\$ 7,00	\$ 7,00
		Fuente de 5V 1A	1	\$ 5,00	\$ 5,00
		Mini paneles 3V	4	\$ 3,50	\$ 14,00
Panel Solar 12V		1	\$ 13,00	\$ 13,00	
				TOTAL	\$ 121,45

Se puede observar en las tablas anteriores que el costo del sistema fijo es de \$63.90, y el prototipo de seguidor solar de un eje es \$89.52, por lo que la construcción del seguidor solar de un eje es equivalente a un 40% de incremento en el presupuesto con respecto al del sistema fijo, el precio del prototipo seguidor de dos ejes es \$121.45, por lo que la construcción incrementa 90% de presupuesto con respecto al sistema fijo, y finalmente incrementa un 35% del presupuesto con respecto al de un eje.

## Capítulo 4 : DESARROLLO DE SIMULACIONES DE CADA MODELO Y ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

En este capítulo se presenta el análisis de comportamiento del panel solar en diferentes ambientes, además del análisis de resultados obtenidos de cada tipo de seguidor solar, así como su comparativa, con el fin de sustentar su viabilidad y aplicación futura.

### 4.1 Análisis del comportamiento del panel solar

Para el análisis de comportamiento del panel solar, se realizó lecturas previas del valor de voltaje que este puede generar en diferentes ambientes para verificar que los datos obtenidos de cada panel se encuentren dentro del rango teórico del mismo (máx. 12V). Cabe mencionar que las medidas de voltaje para cada tipo de seguidor fueron tomadas desde la Ciudad Cuenca-Ecuador (*Véase el Anexo 7 y 8*), en las coordenadas  $2^{\circ} 53' 29''$  S y  $79^{\circ} 00' 02''$  W, tal como se muestra en el mapa de la *Figura 4.1*.



**Figura 4.1 Identificación del lugar de prueba para cada tipo de seguidor**

*Fuente: Google Maps.*

A continuación, en la *Tabla 4.1* se muestra los valores de voltaje obtenidos a través del panel solar en diferentes ambientes. Para la medición del valor se conectó el panel solar en paralelo al multímetro, tal como se muestra en la *Figura 4.2*.

Tabla 4.1 Valores de voltaje obtenidos en diferentes ambientes  
Fuente: Elaboración Propia




Ambiente	Hora	Voltaje
<b>Lluvioso</b> 	17:00:00 pm	4.22V
<b>Nublado</b> 	12:00:00 pm	5.62V
<b>Despejado</b> 	9:00:00am	7.01V



Figura 4.2 Lectura del valor de voltaje del panel solar en ambiente despejado  
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede notar en la *Tabla 4.1* en un clima despejado (soleado) se tiene valores de voltaje variables alrededor de los 7V o más, así mismo este valor disminuye hacia los 5V en un ambiente nublado y a los 4V en ambiente lluvioso. Se pudo notar que estos valores son dependientes de la



ubicación geográfica de los paneles, así mismo del tipo de temporada del año en que se realice la adquisición. Para este trabajo se consideró los meses de marzo, abril y mayo de 2021 para la toma de datos de cada seguidor, donde se tuvo un clima templado y parcialmente nublado.

## 4.2 Datos adquiridos de los prototipos de seguimiento

En esta sección se describe la colocación respectiva de elementos que conforman cada tipo de seguidor solar previo a la adquisición y los resultados obtenidos de cada seguidor. Para la adquisición de datos se consideró un tiempo total de 2 meses (60 días) a partir del 10 de marzo de 2021 hasta el 8 de mayo de 2021. Se tomó 6 muestras cada hora desde las **9h00am** hasta las **17h00pm** (8 horas), dando como resultado un total de **2880 registros** para cada tipo de seguidor solar.

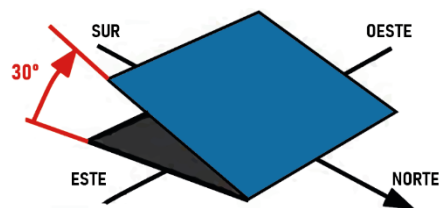
Cabe mencionar que previo al inicio de la adquisición se hicieron ajustes de posicionamiento de los seguidores solares de acuerdo a los cuatro puntos cardinales. Además, se realizó adquisiciones de voltaje del panel solar con y sin luz del sol, a través del microcontrolador Arduino para verificar su funcionamiento tal como se muestra en la *Figura 4.3*.

Luz directa	Sin Luz
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.18
Valor de voltaje: 6.73	Valor de voltaje: 0.17
Valor de voltaje: 6.68	Valor de voltaje: 0.18
Valor de voltaje: 6.69	Valor de voltaje: 0.17
Valor de voltaje: 6.72	Valor de voltaje: 0.19
Valor de voltaje: 6.69	Valor de voltaje: 0.17
Valor de voltaje: 6.69	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.71	Valor de voltaje: 0.20
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.16
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.69	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.65	Valor de voltaje: 0.13
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.67	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.66	Valor de voltaje: 0.15
Valor de voltaje: 6.66	Valor de voltaje: 0.14
Valor de voltaje: 6.66	Valor de voltaje: 0.15

*Figura 4.3 Lectura del valor de voltaje con y sin incidencia de luz a través del microcontrolador Arduino*  
Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.1 Seguidor solar fijo

Para el seguidor solar fijo se consideró su ubicación en el sentido Sur-Norte (*Figura 4.2*) con inclinación 30° desde la base del panel, para garantizar su máxima eficiencia al momento de la adquisición de datos, su colocación se muestra en la *Figura 4.4*.

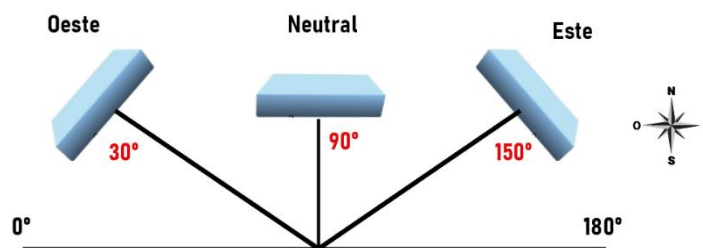


**Figura 4.4 Ubicación del seguidor solar fijo previo a adquisición**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.2 Seguidor solar de un eje

Para el seguidor solar de un eje se consideró su posición respecto al Norte, se ubicó el mismo en el sentido Oeste-Este al igual que la pirámide de seguimiento, cabe recordar que este tipo de seguidor tiene 3 posiciones de ubicación (*Sección 3.2*) según el giro del servomotor, una con inclinación  $30^\circ$  hacia Oeste, otra en posición neutral paralela al suelo en  $90^\circ$  y otra con inclinación  $150^\circ$  hacia Este, tal como se muestra en la Figura 4.5.

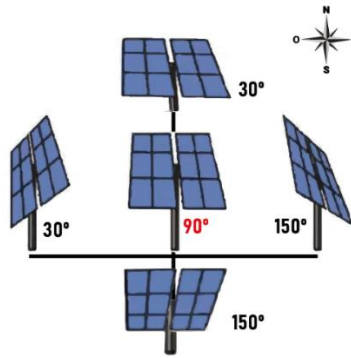


**Figura 4.5 Posiciones de ubicación del panel solar para el seguidor solar de un eje**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.3 Seguidor solar de dos ejes

Para el seguidor solar de dos ejes se consideró su posición inicial respecto al Norte, de igual manera se colocó la pirámide de seguimiento en similar posición. Cabe recordar que este tipo de seguidor tiene 5 posiciones de ubicación (*Sección 3.3*) según el giro del servomotor horizontal y vertical, si el servomotor horizontal se encuentra en  $0^\circ$  se maneja el sentido Norte ( $30^\circ$ ) – Sur ( $150^\circ$ ). Y si el servomotor horizontal se encuentra en  $90^\circ$  se maneja el sentido Oeste ( $30^\circ$ ) – Este ( $150^\circ$ ), caso contrario se mantiene en una posición neutral paralela al suelo, esto se muestra en la Figura 4.6.



**Figura 4.6 Posiciones de ubicación del panel solar para el seguidor solar de dos ejes**

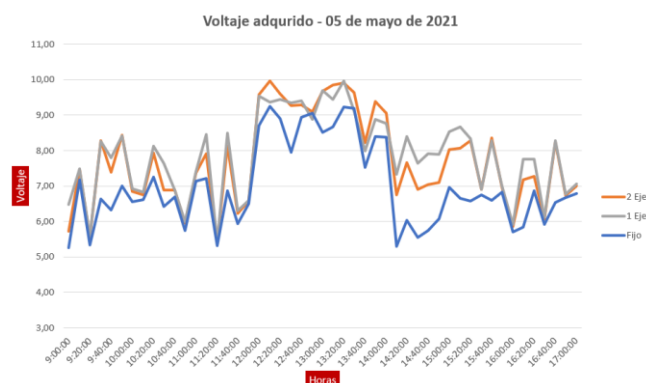
*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.3 Comparativa de seguidores solares

En esta sección se muestra gráficas comparativas del voltaje adquirido sobre el tiempo y temperatura del conjunto de los 3 tipos de seguidores solares para un día específico, en el intervalo de un mes y en el intervalo de 60 días.

#### 4.3.1. Relación voltaje sobre tiempo

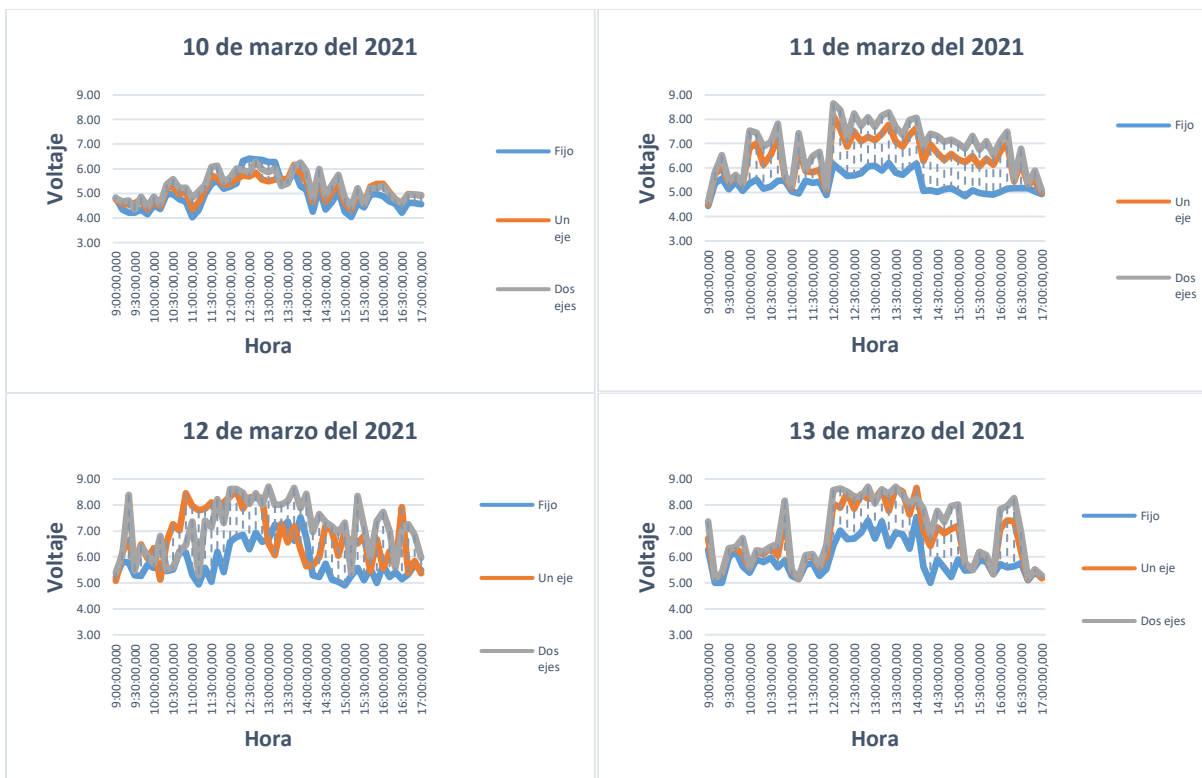
Como primer punto se evalúo el comportamiento de cada seguidor en el día 05 de mayo de 2021, esto se muestra en la *Figura 4.7*, en está gráfica se presenta el desempeño de cada panel de manera independiente el color tomate representa el panel independiente de 2 ejes, el color gris representa el panel independiente de 1 eje y el color azul representa el panel independiente fijo, cabe destacar que las mediciones fueron realizadas en el mismo lugar, en la misma hora del día.



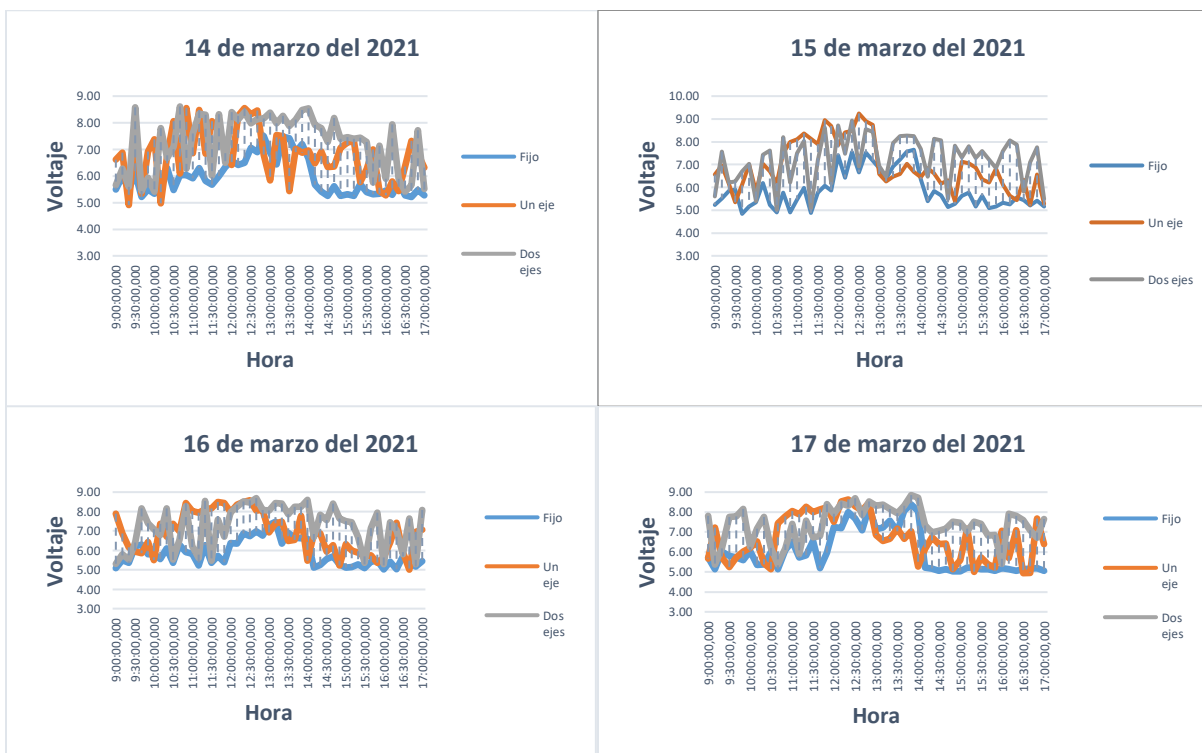
**Figura 4.7 Voltaje generado sobre horas en un día**

*Fuente: Elaboración Propia*

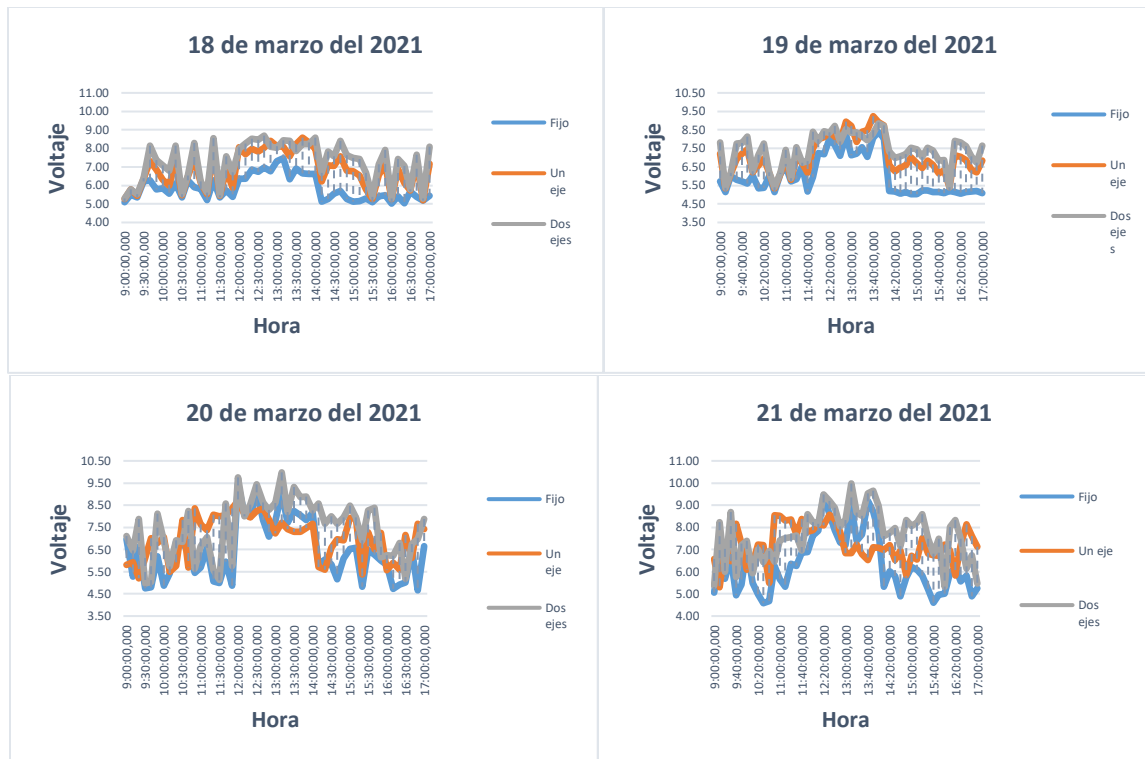
A continuación, se presenta la misma comparativa, en el caso de todas las muestras, y en el tiempo completo de trabajo de 60 días de manera individual por cada día, se muestra una hoja de Excel del trabajo realizado como ejemplo en el *Anexo 9*.



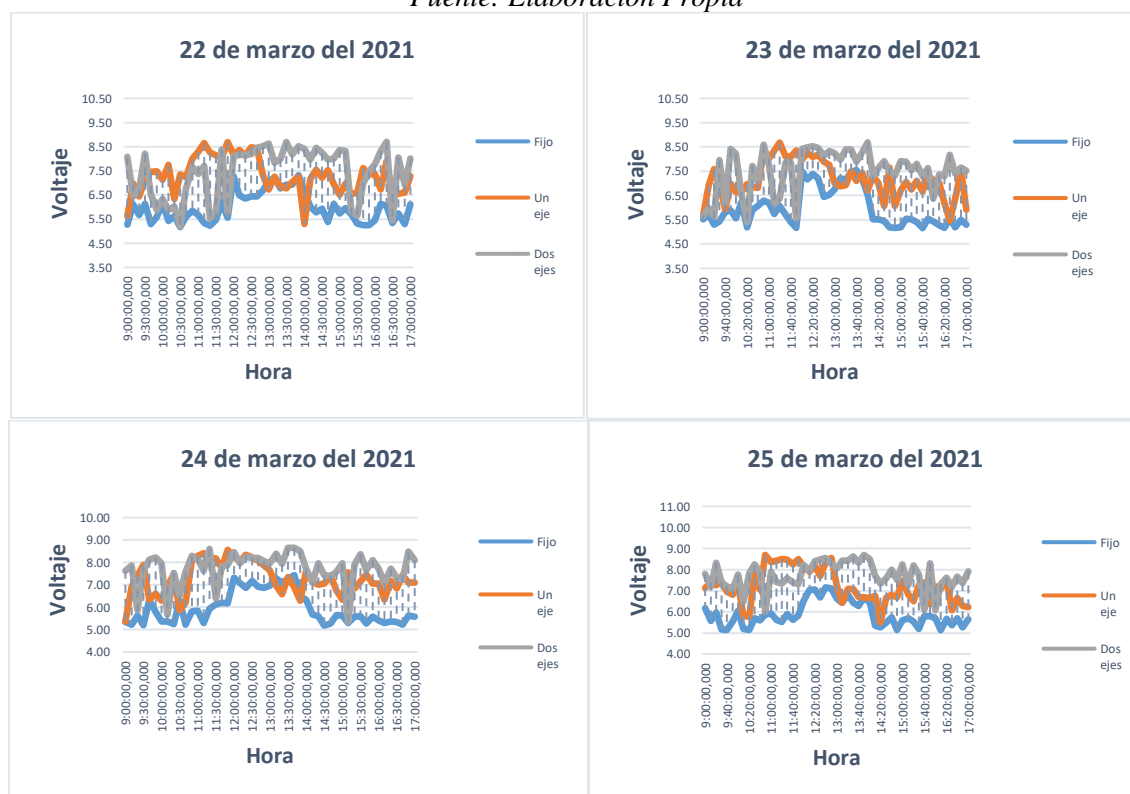
**Figura 4.8 Comparativa sobre el número de muestras del 10 al 13 de marzo de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



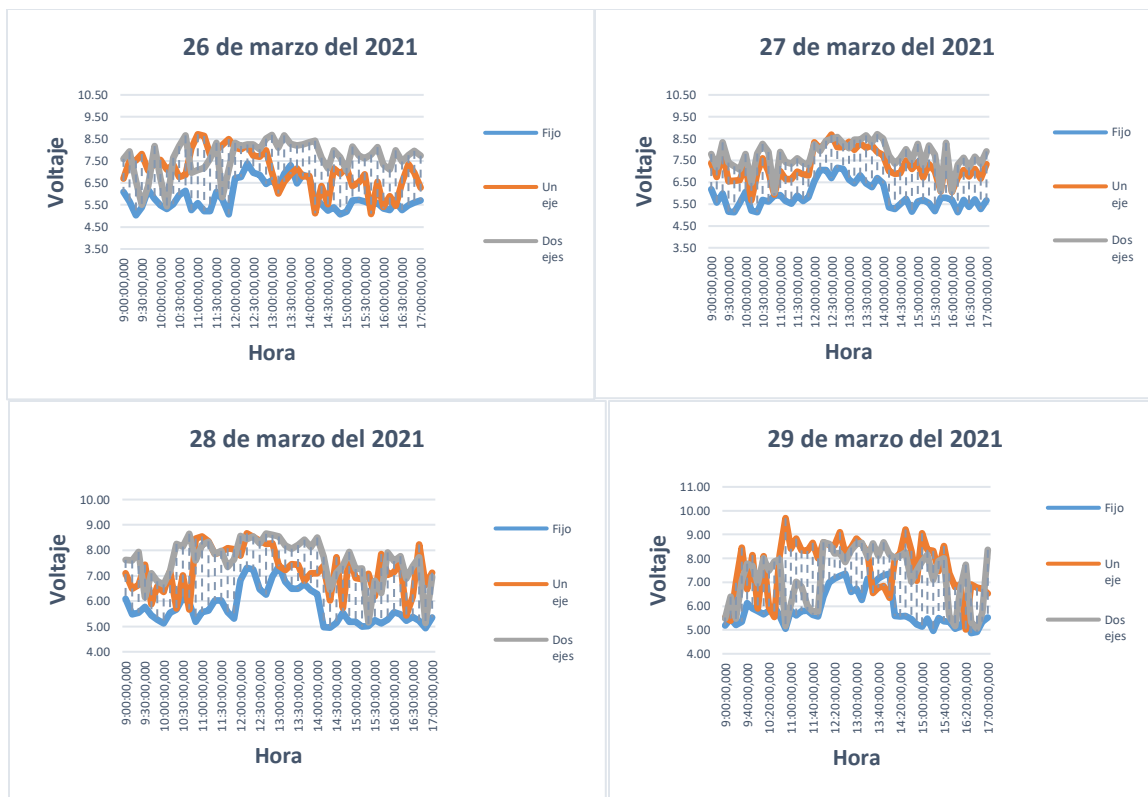
**Figura 4.9 Comparativa sobre el número de muestras del 14 al 16 de marzo de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



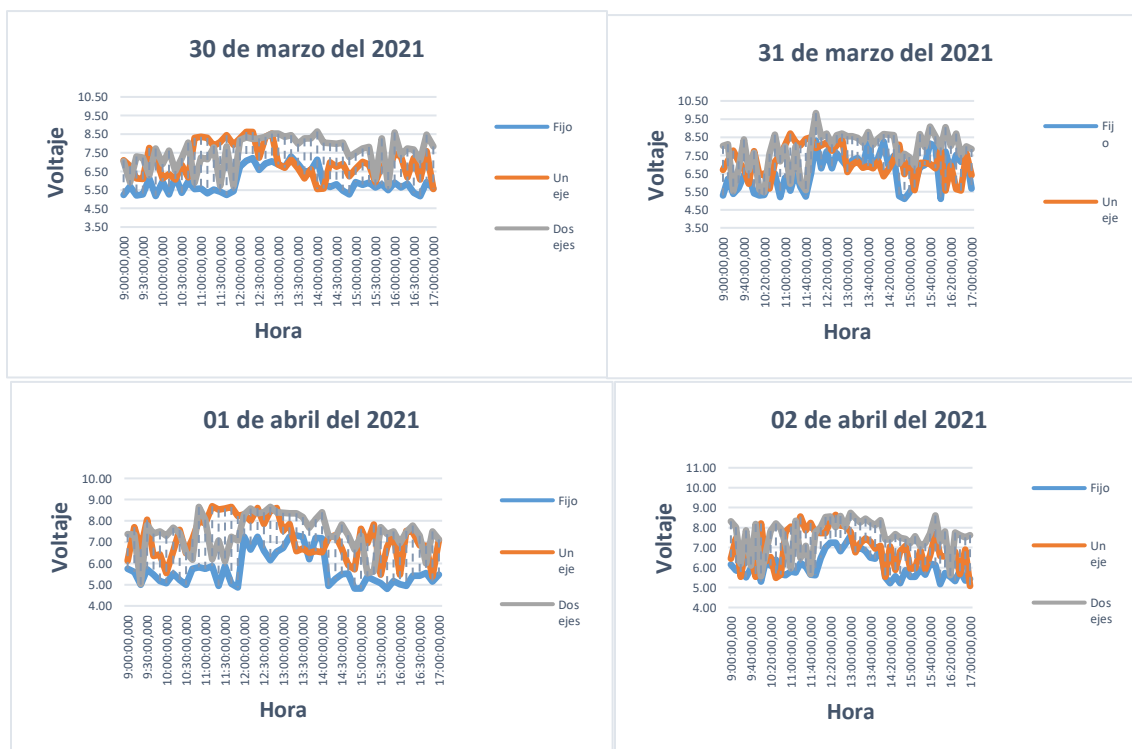
**Figura 4.10 Comparativa sobre el número de muestras del 18 al 21 de marzo de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



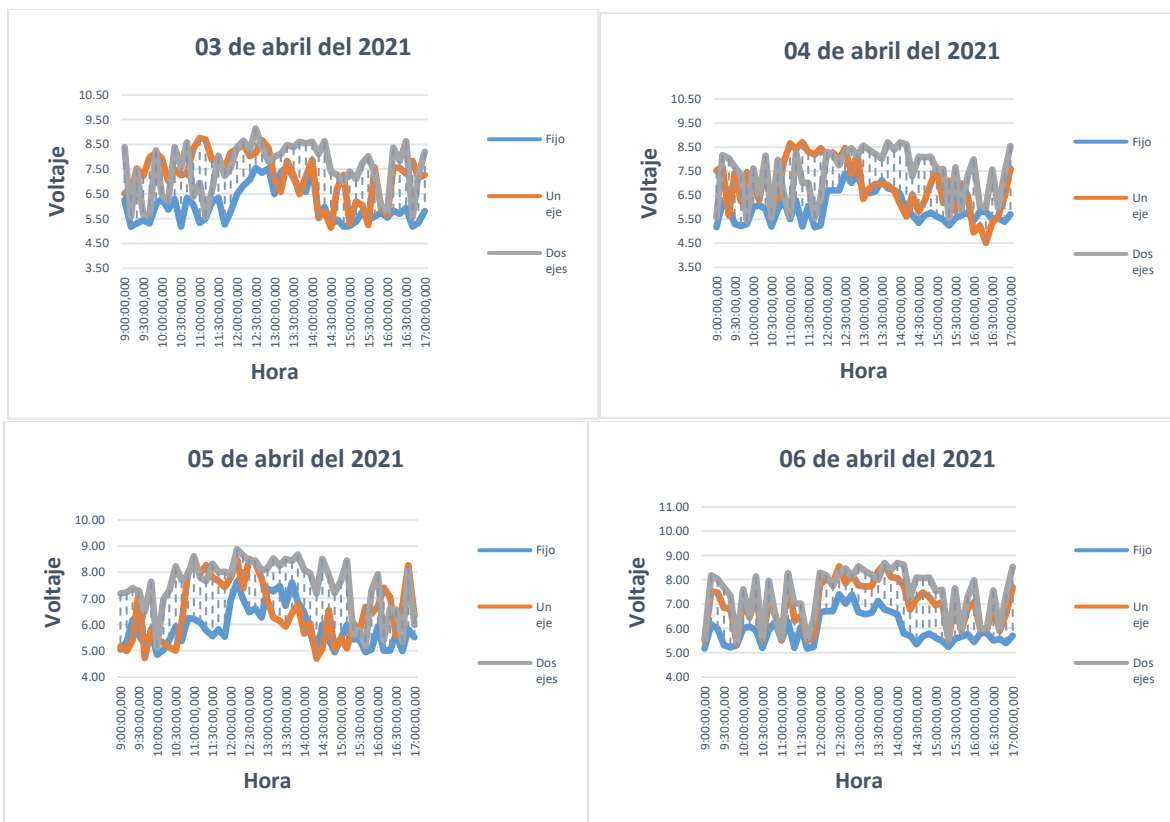
**Figura 4.11 Comparativa sobre el número de muestras del 22 al 25 de marzo de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 4.12 Comparativa sobre el número de muestras del 26 al 29 de marzo de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*

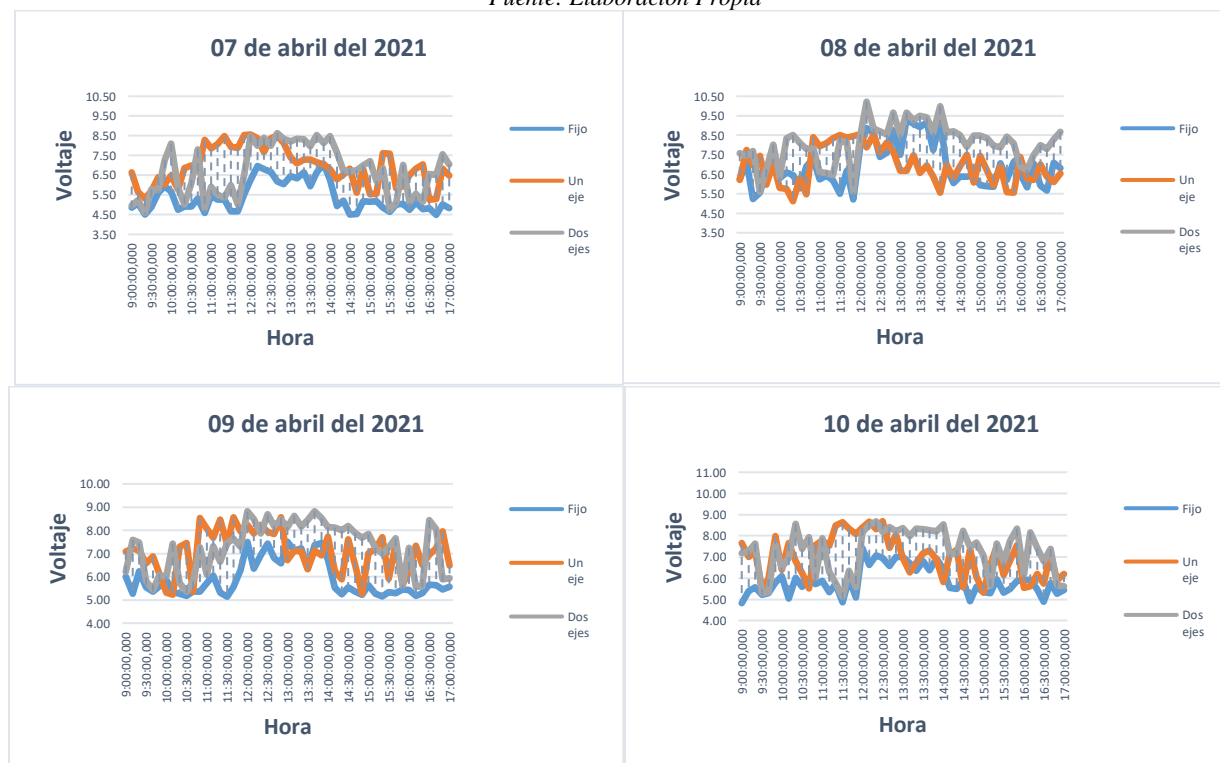


**Figura 4.13 Comparativa sobre el número de muestras del 30 de marzo al 02 de abril de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



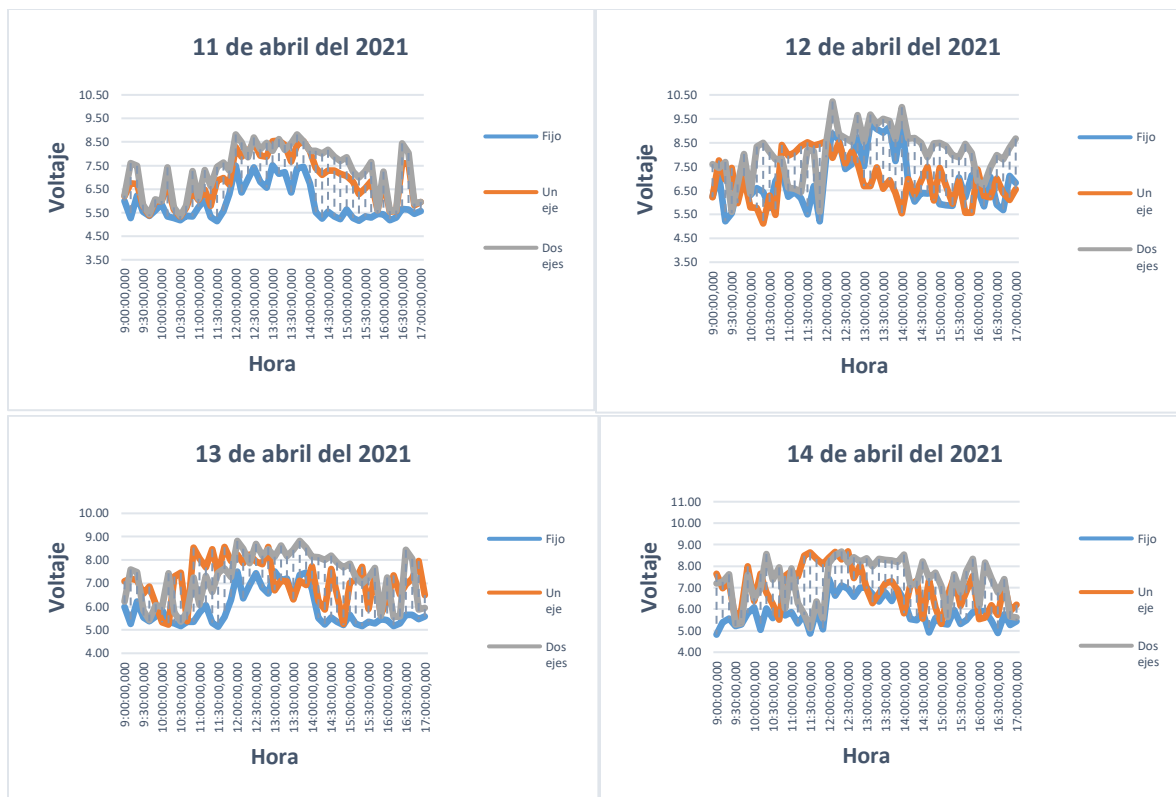
**Figura 4.14 Comparativa sobre el número de muestras del 03 al 06 de abril de 2021**

*Fuente: Elaboración Propia*



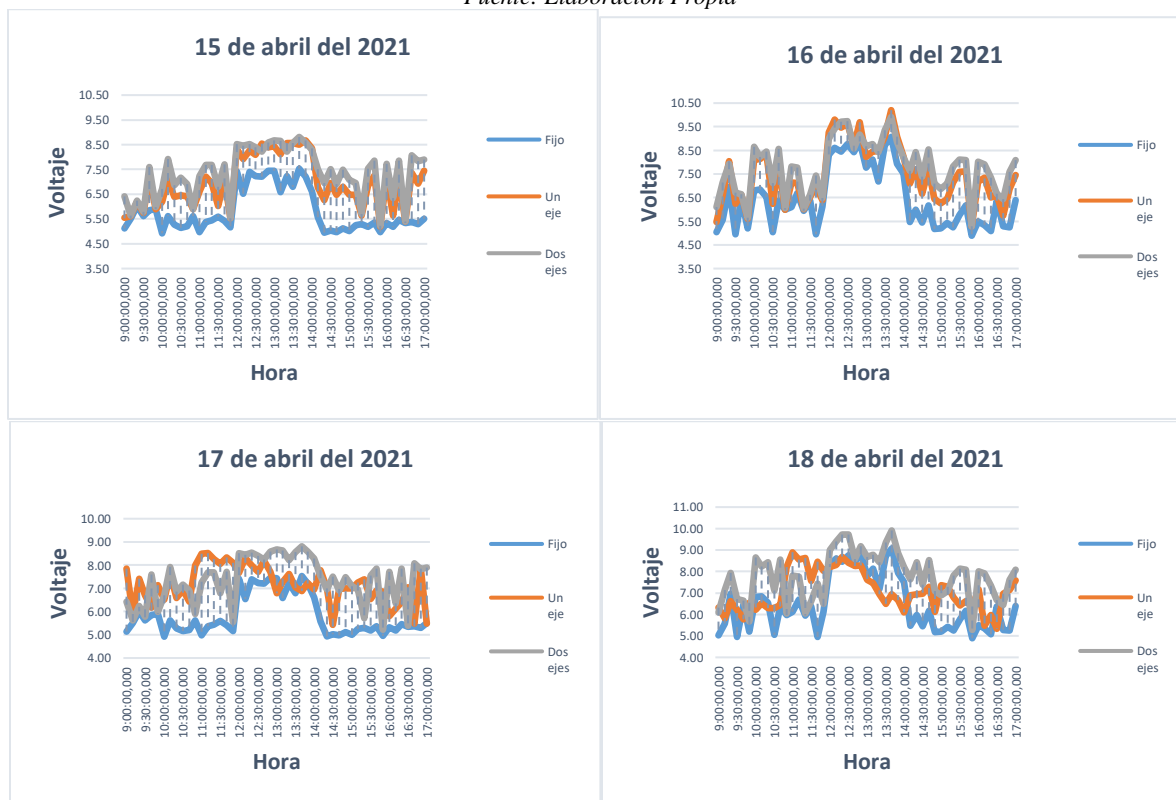
**Figura 4.15 Comparativa sobre el número de muestras del 07 al 10 de abril de 2021**

*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 4.16 Comparativa sobre el número de muestras del 11 al 14 de abril de 2021**

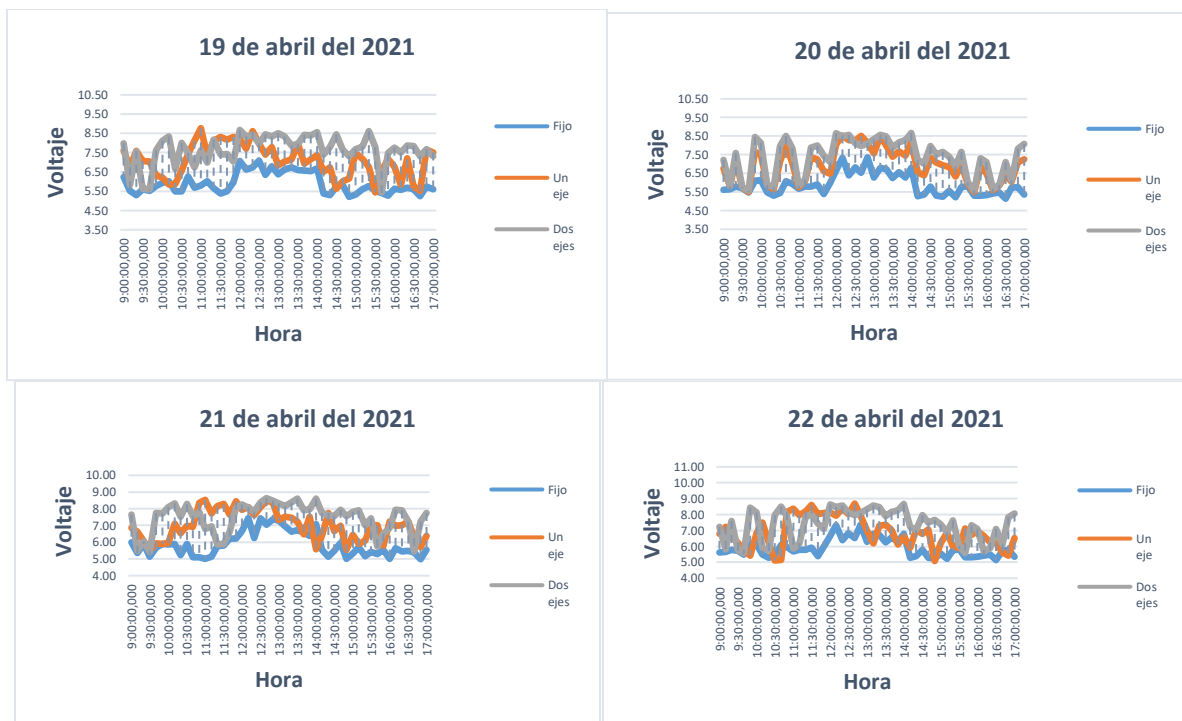
*Fuente: Elaboración Propia*



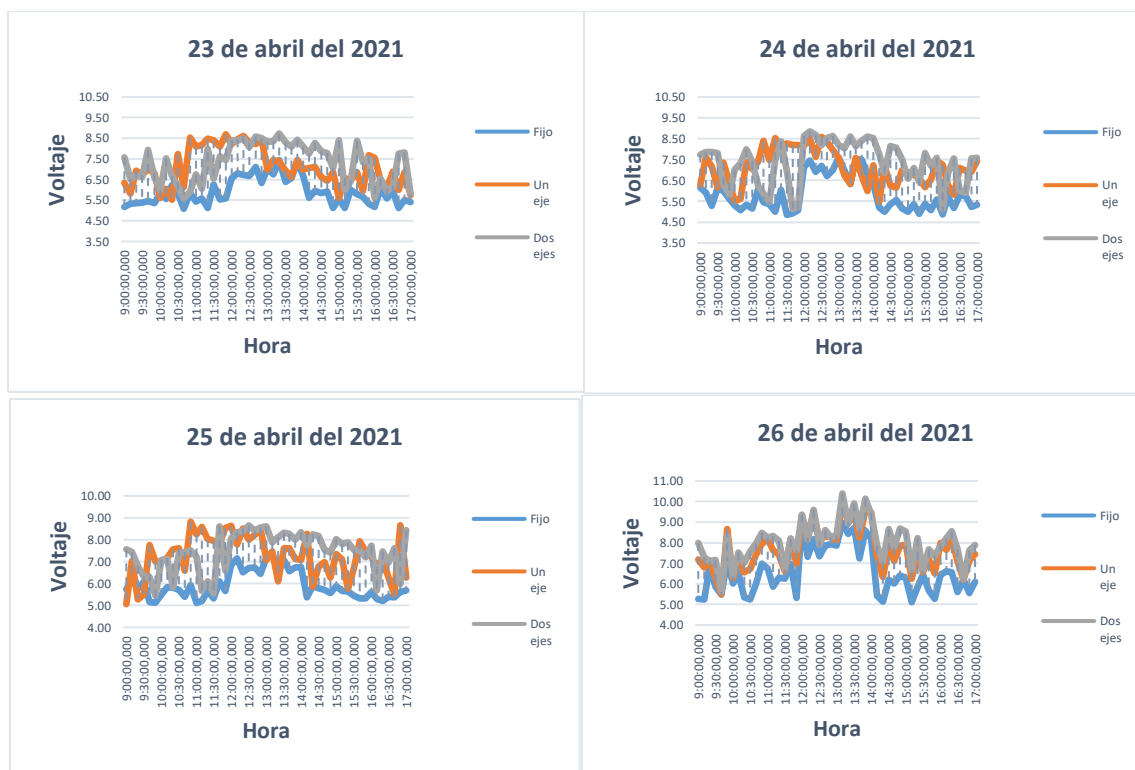
**Figura 4.17 Comparativa sobre el número de muestras del 15 al 18 de abril de 2021**

*Fuente: Elaboración Propia*





**Figura 4.18 Comparativa sobre el número de muestras del 19 al 22 de abril de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 4.19 Comparativa sobre el número de muestras del 23 al 26 de abril de 2021**  
*Fuente: Elaboración Propia*

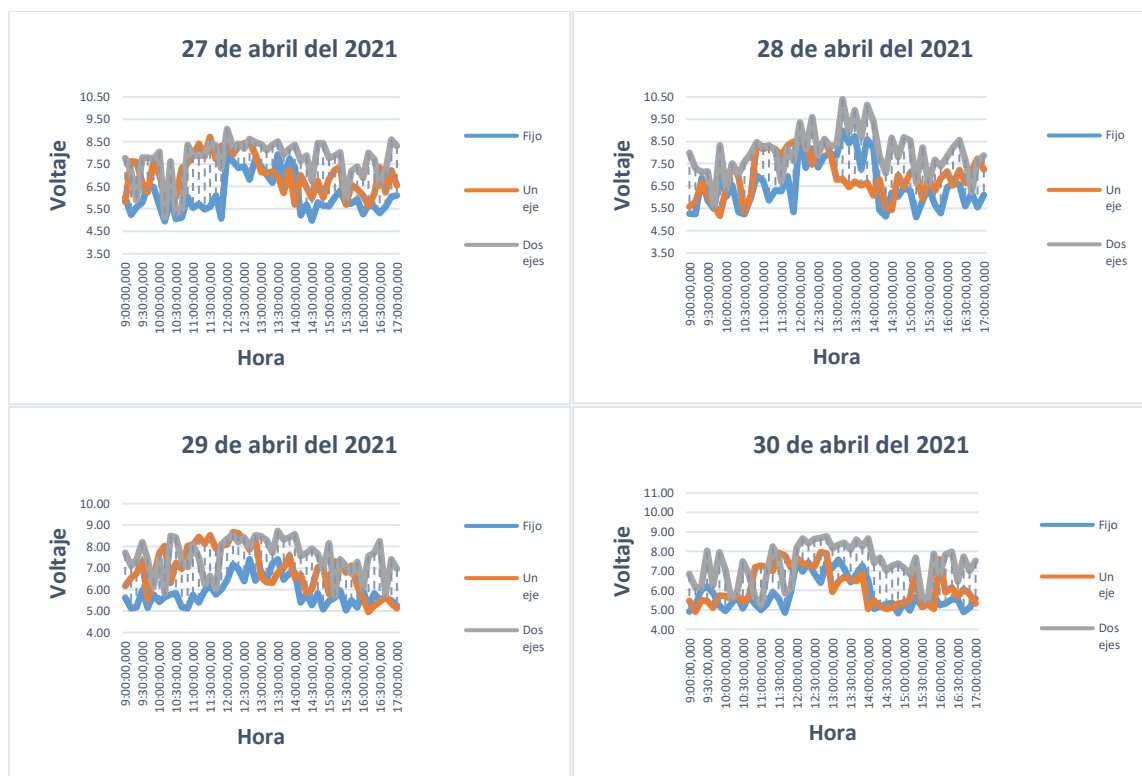


Figura 4.20 Comparativa sobre el número de muestras del 27 al 30 de abril de 2021

Fuente: Elaboración Propia

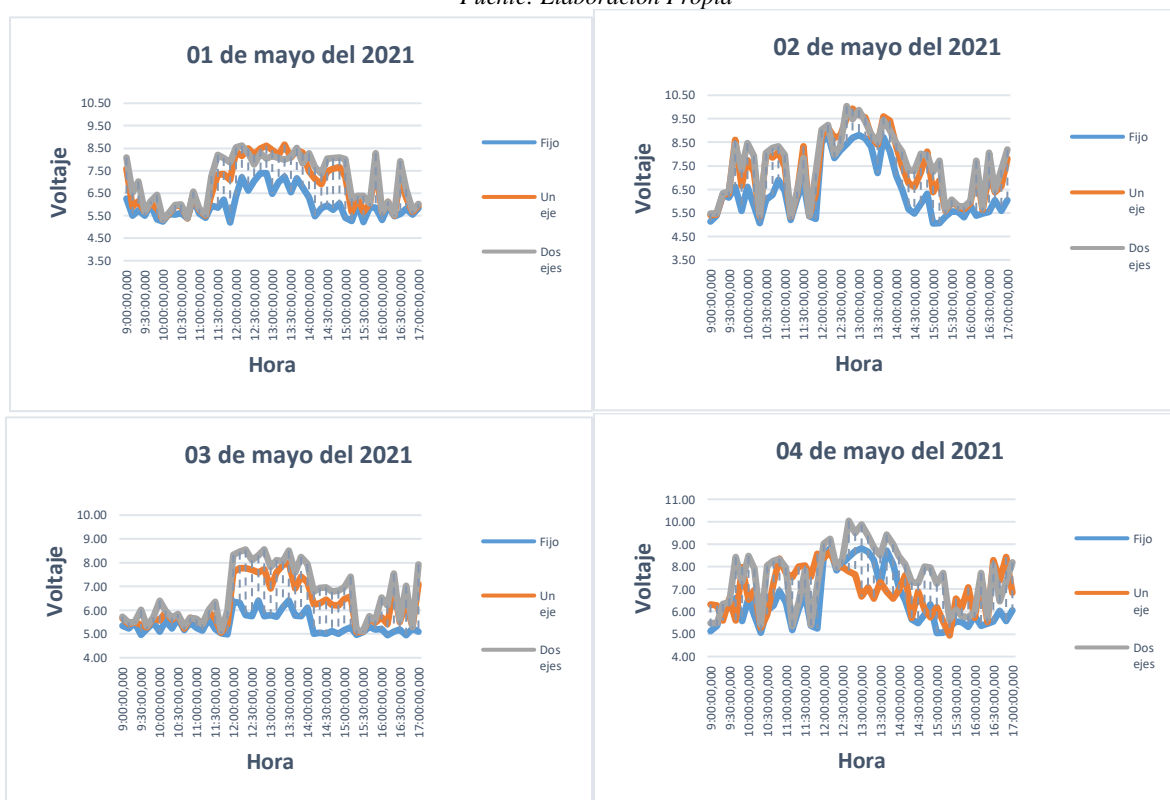


Figura 4.21 Comparativa sobre el número de muestras del 01 al 04 de mayo de 2021

Fuente: Elaboración Propia

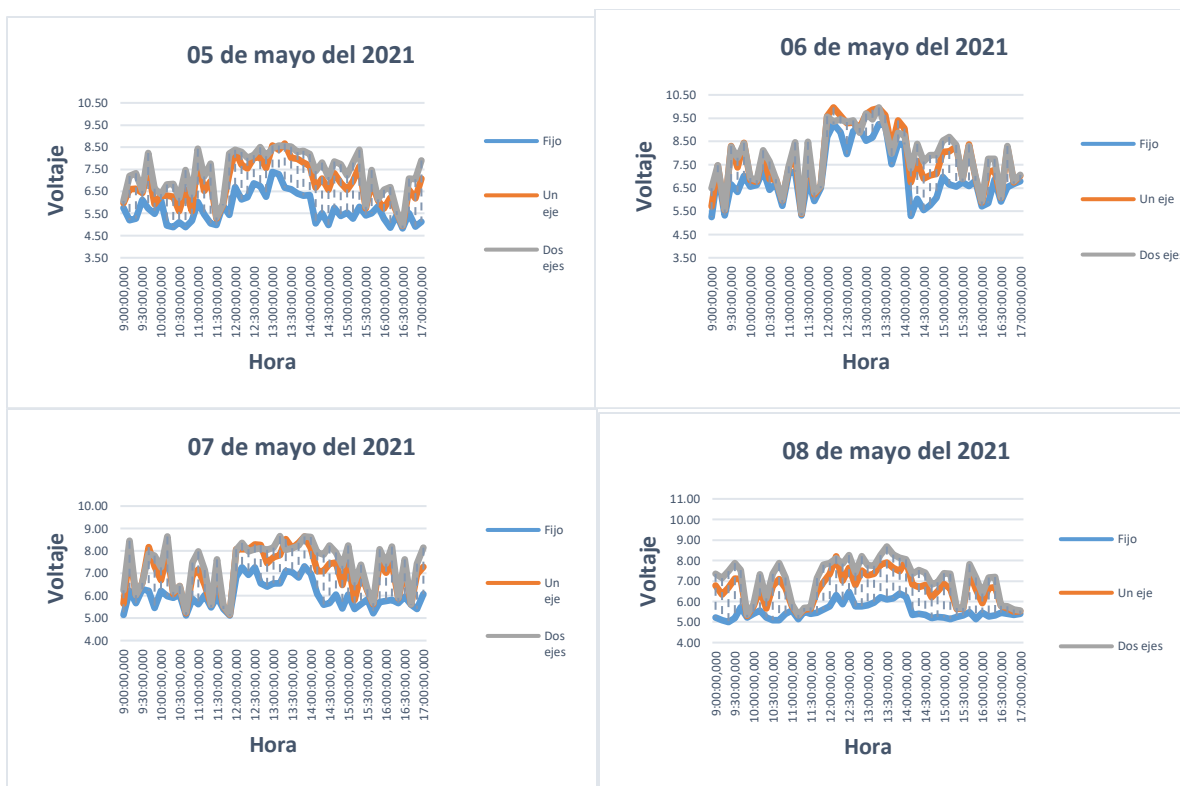


Figura 4.22 Comparativa sobre el número de muestras del 05 al 08 de mayo de 2021

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la mayoría de gráficas mostradas desde la figura 4.8 hasta la figura 4.22, el seguidor solar fijo es el que menos rendimiento y generación de voltaje presenta a comparación de los seguidores móviles, esto se debe a la posición fija que presenta y el ambiente donde se desenvuelve, este último es importante dado que el clima de Cuenca es variable tanto por la mañana como por la tarde, y en el caso que se presente la acción solar por corto tiempo es importante aprovecharla es por esto que el seguidor de un eje tiene un mejor rendimiento de 16.75% con respecto al seguidor fijo. En la comparativa entre el seguidor de un eje y de dos ejes, se nota que a pesar de que el seguidor de 2 ejes tiene un ligero rendimiento superior al de un eje, el comportamiento es muy semejante debido que el rendimiento mejora en 4.76% con respecto al seguidor de un eje, finalmente entre el seguidor de dos ejes con respecto al fijo se aumentó en un 22.31% la eficiencia, sin embargo por facilidad de costo y despliegue para un futuro se optaría por el seguidor de un solo eje en la zona de medición en que se llevó este trabajo (Figura 4.1), estos cálculos de eficiencias se realiza comparando los datos obtenidos en la hoja de cálculo que se muestra en el Anexo 9.

#### 4.3.2. Relación con temperatura

A continuación, en la Figura 4.23 se presenta la comparativa del voltaje generado de cada seguidor sobre el valor de temperatura en el rango de 60 días. Con esto se buscó identificar si la temperatura del ambiente afecta al voltaje generado de cada panel.

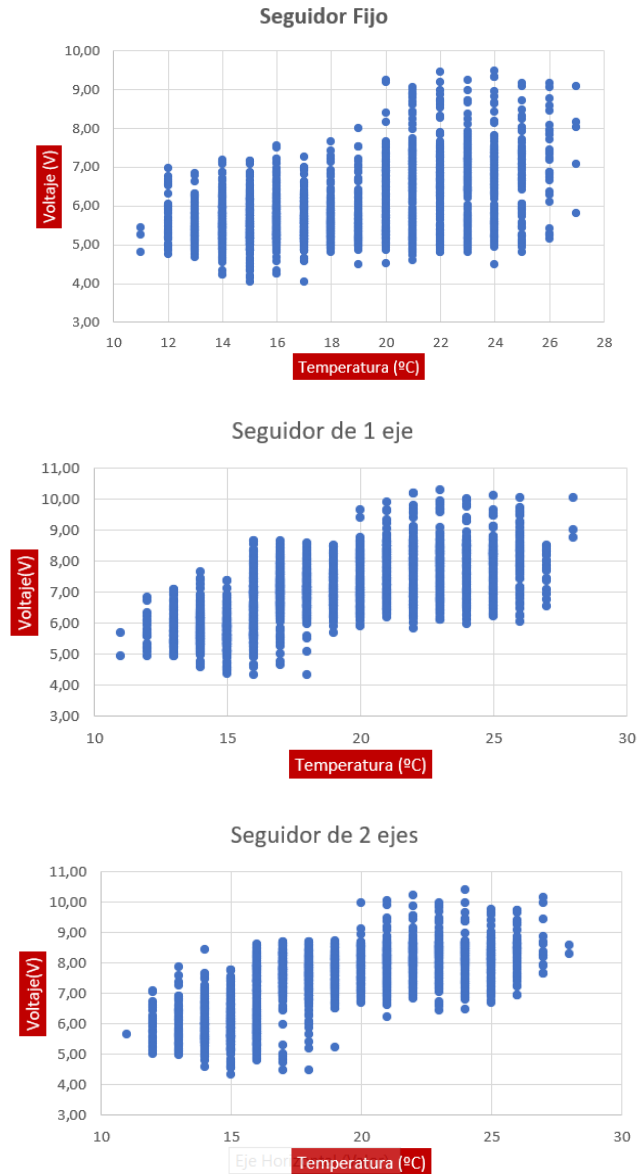
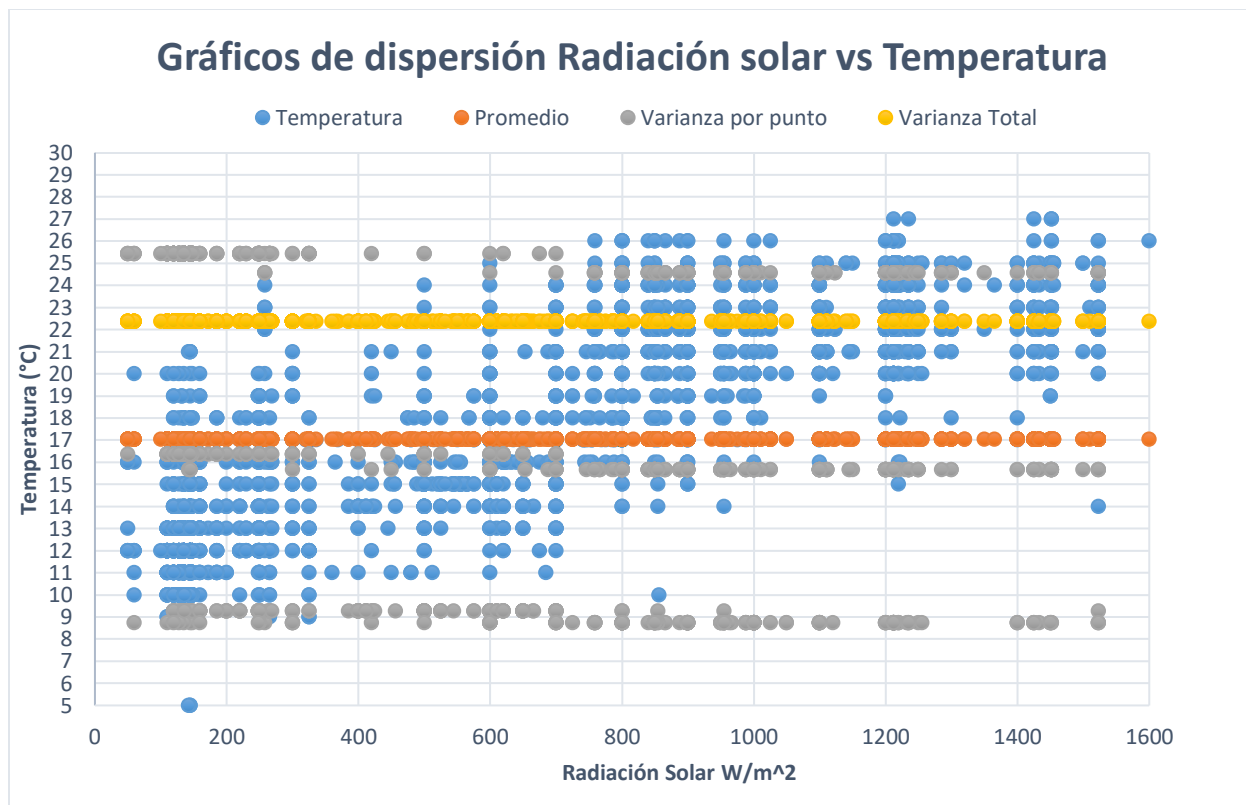


Figura 4.23 Gráficos de dispersión Voltaje/Temperatura de los diferentes tipos de seguidores  
Fuente: Elaboración Propia

Se puede identificar que en los 3 tipos de seguidores si la temperatura se incrementa el voltaje también debe incrementarse, esto es notorio en el seguidor de 2 ejes y de un eje, donde en los valores de voltaje superiores a 10V se tiene una temperatura entre 25 a 27°. Cabe recalcar que esta temperatura es dependiente del sensor DHT11.



**Figura 4.24 Gráficos de dispersión radiación solar y temperatura entre 10 de marzo a 08 de mayo del 2021**

*Fuente: Elaboración Propia*

Se puede identificar en la figura 4.24 con los datos del sistema SCADA del campus Balzay, que mientras aumenta la radiación como en este caso de 1000 a 1500  $W/m^2$  la temperatura oscila entre 20 a 25  $^{\circ}C$  y su valor promedio es 17.043  $^{\circ}C$ , en la gráfica se puede observar que la temperatura ambiente será más alta mientras mayor radiación solar existe, también se puede notar que para una radiación entre 100 a 300  $W/m^2$  la temperatura ambiente y de mayor ocurrencia está entre 8 a 18  $^{\circ}C$ , según el experimento y los datos obtenidos por el sistema SCADA para la fecha establecida anteriormente, finalmente la gráfica muestra la varianza para cada punto debido que cada temperatura y radiación solar tiene un rango de datos, a la vez que se incluye la varianza total del conjunto de datos.

## Capítulo 5 : ANÁLISIS ECONÓMICO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

En este capítulo se desarrollará un análisis económico, para ello lo primero a destacar y tener en cuenta sería conocer la producción de energía que produce un sistema fotovoltaico, el cual se utilizó el parque fotovoltaico ubicado en el eco campus Balzay de la Universidad de Cuenca (sección 5.1), como segundo punto se procede analizar todos los costos de inversión es decir: instalación, materiales, impuestos y mantenimiento (sección 5.2), como tercer punto se procede a calcular la viabilidad económica (sección 5.3), para finalmente mostrar las encuestas realizadas (sección 5.4)

### 5.1 Producción energética del parque fotovoltaico ‘Eco Campus Balzay’

En este punto se procede a realizar el análisis de la información proporcionada por la estación meteorológica y el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) que es un sistema de adquisición de datos a distancia. En el laboratorio se encuentra instalado: paneles fijos monocristalinos y paneles fijos policristalinos. La gran ventaja al analizar simultáneamente estas tecnologías es que para todos los datos se utilizan las mismas condiciones como: radiación solar, temperatura, nubosidad, etc.

Los datos obtenidos de potencia fueron de 6 meses entre: noviembre del 2020 hasta abril del 2021, se recopiló información cada 10 segundos del día (Véase Anexo 6), por lo tanto se tuvo que procesar 1650250 datos de captación energía de cada tecnología, para el análisis de datos se tomó en cuenta que el período de rendimiento es de 06:00 a 18:00, el resto de datos del día no fueron tomados en cuenta debido que no aportan información relevante, con estos datos se procede a calcular la energía (kWh), que es la variable fundamental para realizar un análisis económico debido que en los sistemas eléctricos se factura la energía de consumo lo que da un valor referencial para comparar una rentabilidad en la producción energética, para este ejemplo del eco campus Balzay.

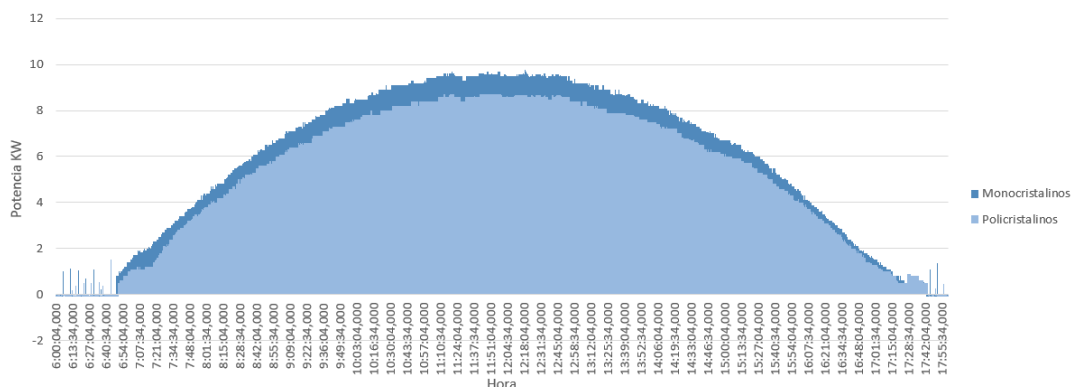


Figura 5.1 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 03-11-20

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la energía del sistema fotovoltaico se procede de la siguiente manera:

1. Como primer punto en la *fig. 5.1*, se presenta una gráfica de la potencia en kilovatios (kW), en función del tiempo; se sabe que la unidad de energía kilovatios-hora (kWh) es una medida que nos indica la potencia de energía consumida en un período de tiempo, por lo tanto, mediante la gráfica se puede establecer una relación kW y hora.
2. Para estimar la energía a través de las lecturas de potencia, se procede a multiplicar la potencia en kW de las ordenadas, por la fracción de tiempo en las abscisas, está fracción de tiempo son de 10 segundos por lo tanto transformando a hora sería de (10 segundos es equivalente a 10/3600 horas), está multiplicación da un valor en kWh, para un par ordenado (kW, hora).
3. Finalmente se suma el valor de la multiplicación de cada par ordenado, dando como resultado la energía generada durante un día, en síntesis, el área bajo la curva de la *fig. 5.1*, es la energía en kWh del día tanto para monocristalinos y policristalinos.

Con esta metodología se procede a realizar el cálculo diario de la energía del sistema, de los cuales se presenta mes a mes un resumen.

### 5.1.1 Generación fotovoltaica mes de noviembre de 2020

En el mes de noviembre de 2020, no hubo ningún día de mantenimiento por lo que se muestra todos los datos y gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.

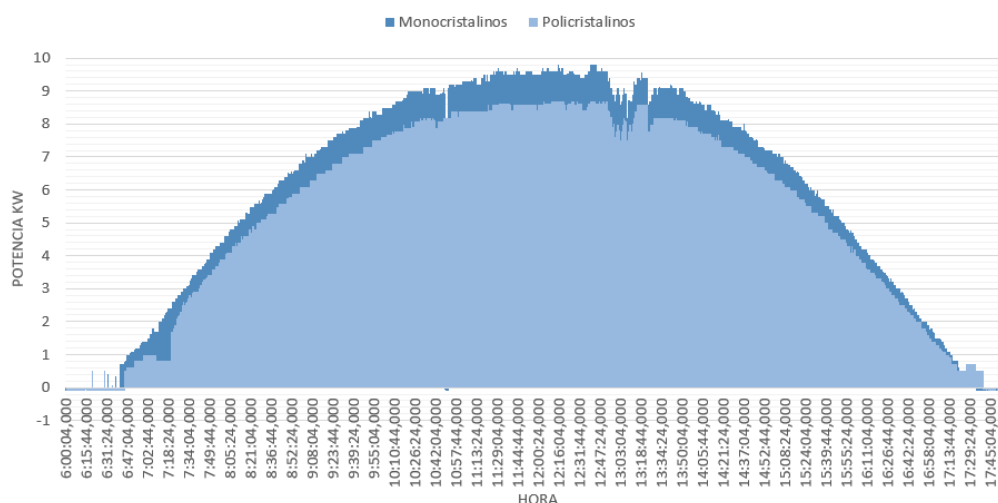
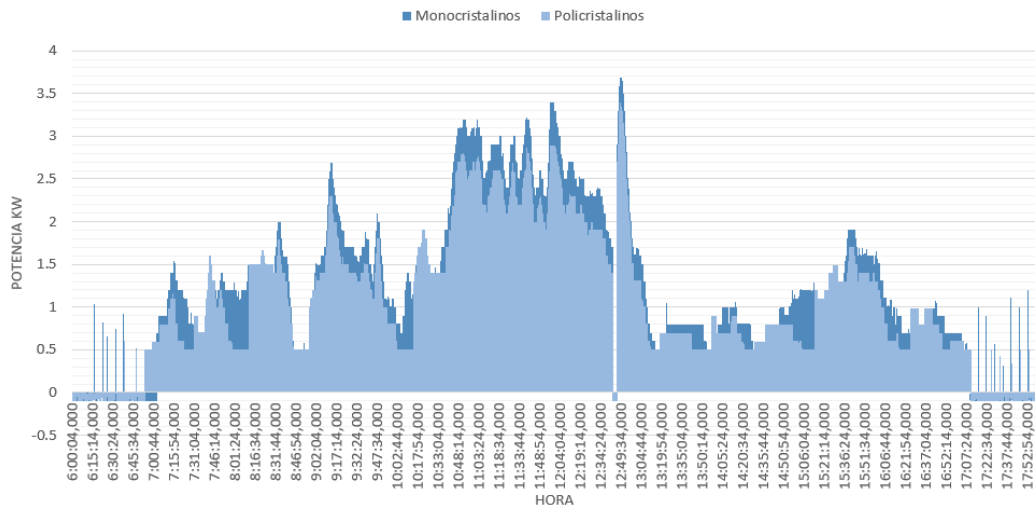


Figura 5.2 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 02-11-20

Fuente: Elaboración propia

En la *fig. 5.2* se presenta los valores de producción de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **9.79kW** en el intervalo de tiempo de *12h40 a 12h43*, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **8.7kW** en el intervalo de tiempo de *12h40 a 12h43*.



**Figura 5.3 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 09-11-20**  
*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.3* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de menor producción solar del mes, el máximo valor para la tecnología de paneles monocristalino es **3.69kW** en el intervalo de tiempo de *12h48 a 12h49*, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **3.39kW** en el intervalo de tiempo de *12h49 a 12h50*, hay un intervalo de tiempo de *12h43 a 12h46* que el sistema no obtiene información.

Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de noviembre de 2020:

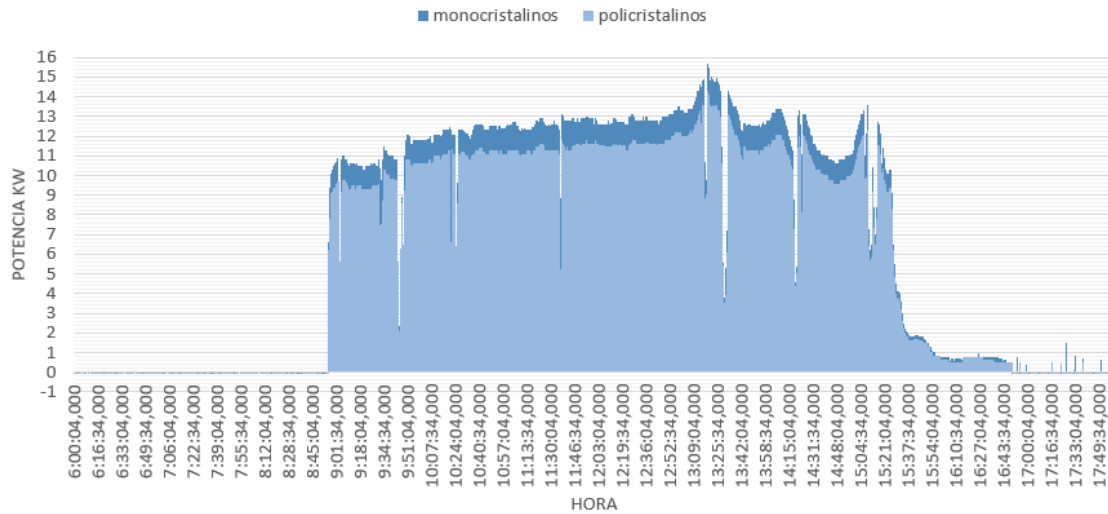


Tabla 5.1 Energía captada en noviembre de 2020  
Fuente: Elaboración propia

NOVIEMBRE DE 2020(kWh)					
Día	Monocristalinos	Policristalinos	Día	Monocristalinos	Policristalinos
01-nov-20	60.22	54.64	16-nov-20	37.34	33.2
02-nov-20	70.25	63.09	17-nov-20	17.43	15.36
03-nov-20	69.54	62.33	18-nov-20	44.43	39.34
04-nov-20	68.32	60.97	19-nov-20	50.18	44.64
05-nov-20	60.96	55.14	20-nov-20	30.3	27
06-nov-20	53.43	49.29	21-nov-20	46.24	41.34
07-nov-20	17.17	15.03	22-nov-20	45.85	40.76
08-nov-20	23.21	20.92	23-nov-20	29.76	26.48
09-nov-20	14.3	12.6	24-nov-20	29.47	25.42
10-nov-20	49.6	44.5	25-nov-20	48.58	42.65
11-nov-20	53.25	47.09	26-nov-20	59.52	53
12-nov-20	55.23	49.51	27-nov-20	29.38	26.15
13-nov-20	51.09	46	28-nov-20	28.91	25.67
14-nov-20	36.6	33.06	29-nov-20	55.68	50.37
15-nov-20	34.93	31.13	30-nov-20	66.47	60.05
SUMA				1337.64	1196.73
PROMEDIO				44.588	39.891

### 5.1.2 Generación fotovoltaica mes de diciembre de 2020

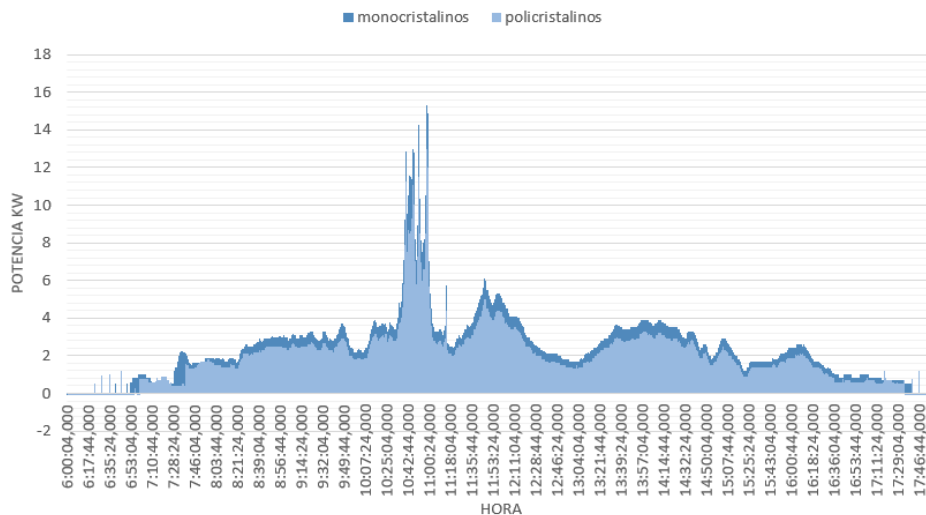
En el mes de diciembre de 2020, no hubo ningún día de mantenimiento por lo que se muestra todos los datos y gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.



**Figura 5.4 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 10-12-20**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.4* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **15.7kW** en el intervalo de tiempo de 13h18 a 13h19, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **14.29kW** en el intervalo de tiempo de 13h18 a 13h19, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.



**Figura 5.5 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 26-12-20**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.5* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de menor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles

monocristalino es **15.3kW** en el intervalo de tiempo de 10h58 a 10h59, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **13kW** en el intervalo de tiempo de 10h58 a 10h59.

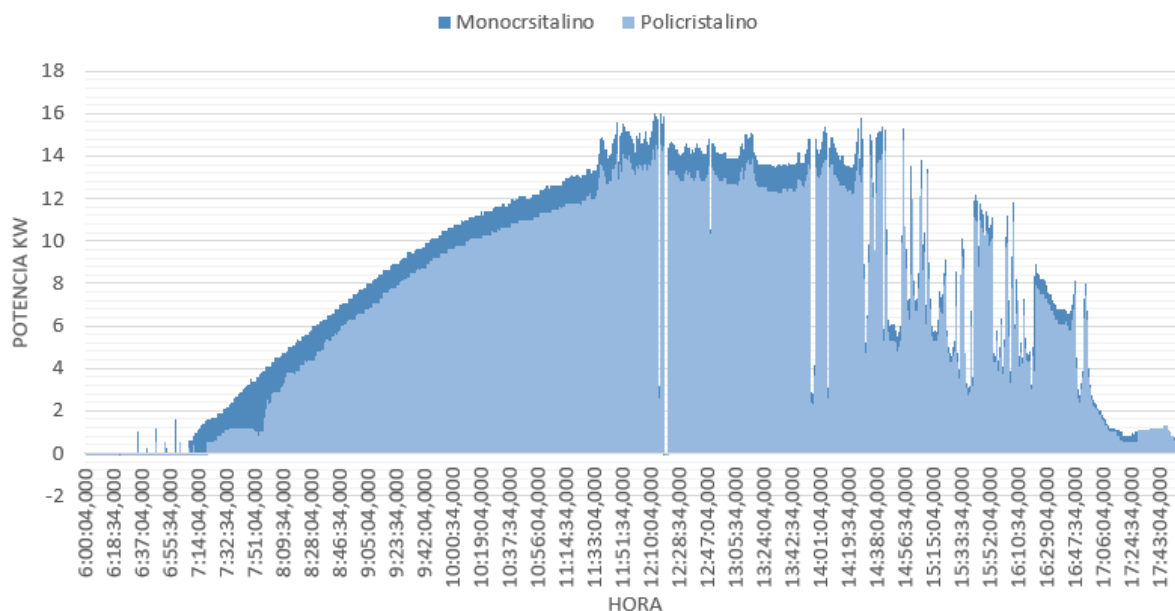
Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de diciembre de 2020:

*Tabla 5.2 Energía captada en diciembre 2020*  
Fuente: Elaboración propia

<b>DICIEMBRE DE 2020(kWh)</b>					
<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>	<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>
01-dic-20	61.77	55.88	17-dic-20	36.3	32.68
02-dic-20	52.71	42.38	18-dic-20	48.11	43.21
03-dic-20	57.24	51.32	19-dic-20	54.62	49.55
04-dic-20	60.88	54.63	20-dic-20	64.2	63.96
05-dic-20	40.54	36.4	21-dic-20	52.77	43.5
06-dic-20	50.82	45.74	22-dic-20	54.65	44.98
07-dic-20	56.05	50.47	23-dic-20	51.05	42.11
08-dic-20	40.99	45.06	24-dic-20	52.95	43.62
09-dic-20	35.54	32	25-dic-20	54.14	44.51
10-dic-20	77.25	69.83	26-dic-20	28.12	22.31
11-dic-20	49.34	44.6	27-dic-20	65.3	53.71
12-dic-20	63.44	56.7	28-dic-20	54.31	44.65
13-dic-20	61.88	56.2	29-dic-20	70.97	59.68
14-dic-20	71.88	63.88	30-dic-20	40.39	33.12
15-dic-20	62.19	56.8	31-dic-20	58.86	57.85
16-dic-20	71.95	63.88	<b>SUMA</b>	1701.21	1505.21
			<b>PROMEDIO</b>	54.88	48.56

### 5.1.3 Generación fotovoltaica mes de enero de 2021

En el mes de enero de 2021, no hubo ningún día de mantenimiento por lo que se muestra todos los datos y gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.



*Figura 5.6 Datos de energía del sistema fotovoltaico 31-01-21*

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.6* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **15.99kW** en el intervalo de tiempo de 12h16 a 12h17, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **14.71kW** en el intervalo de tiempo de 14h55 a 14h56, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.

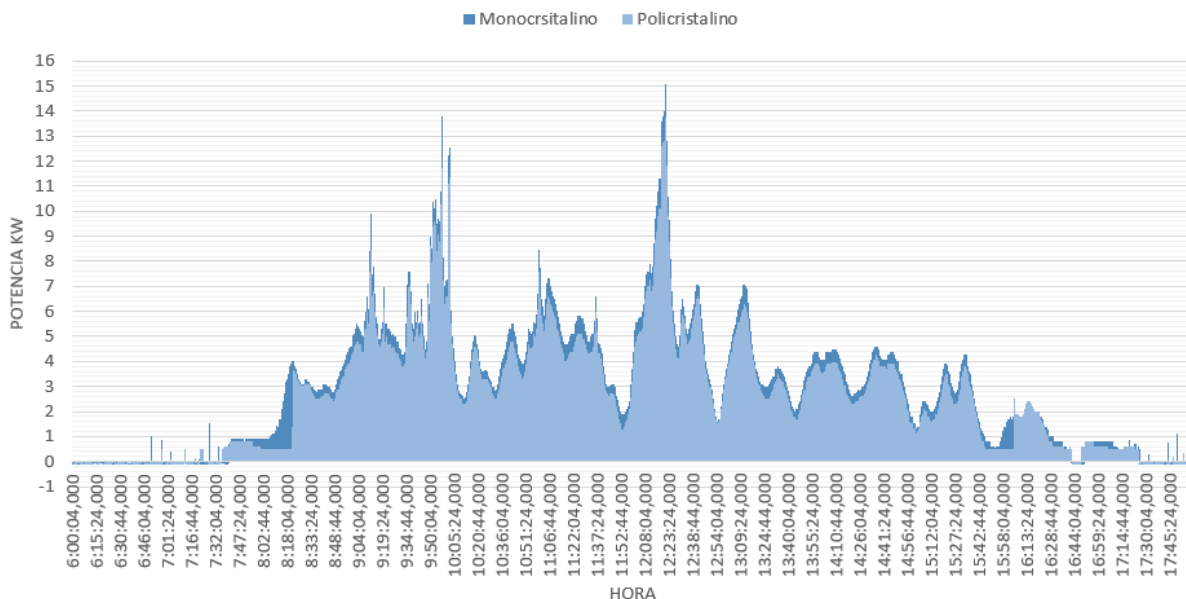


Figura 5.7 Datos de energía del sistema fotovoltaico 22-01-21

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.7* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de menor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **15.06kW** en el intervalo de tiempo de 12h20 a 12h21, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **13.74kW** en el intervalo de tiempo de 12h20 a 12h21.

Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de enero de 2021:

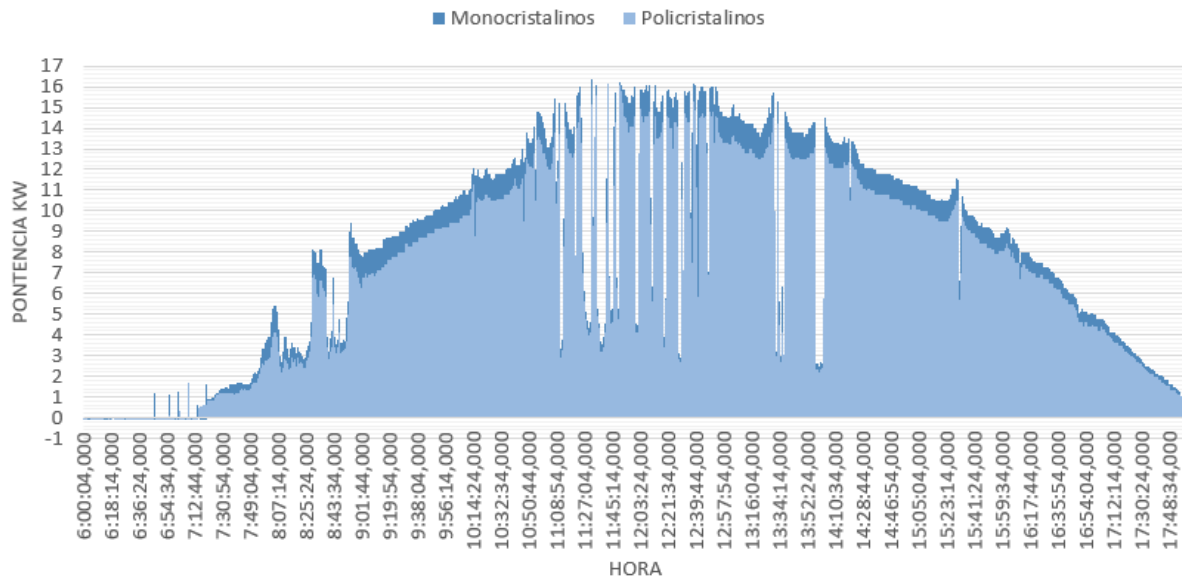
Tabla 5.3 Energía captada en enero del 2021

Fuente: Elaboración propia

ENERO DE 2021(kWh)					
Día	Monocristalinos	Policristalinos	Día	Monocristalinos	Policristalinos
01-ene-21	49.54	40.15	17-ene-21	75.97	67.33
02-ene-21	56.78	46.78	18-ene-21	73.72	65.19
03-ene-21	53.22	43.43	19-ene-21	62.59	56.76
04-ene-21	48.34	40.06	20-ene-21	58.04	52.51
05-ene-21	47.61	47.3	21-ene-21	56.56	52.71
06-ene-21	58.25	52.16	22-ene-21	34.98	30.98
07-ene-21	50.51	48.39	23-ene-21	35.81	32.11
08-ene-21	45.16	40.8	24-ene-21	47.94	43.33
09-ene-21	54.07	48.61	25-ene-21	43.54	39.69
10-ene-21	50.06	44.88	26-ene-21	59.36	53.54
11-ene-21	62.48	56.56	27-ene-21	62.01	56.43
12-ene-21	72.18	65.24	28-ene-21	54.51	50.39
13-ene-21	56.53	51.92	29-ene-21	57.2	52.16
14-ene-21	52.88	47.73	30-ene-21	49.76	44.77
15-ene-21	50.27	44.68	31-ene-21	90.8	80.56
16-ene-21	53.74	48.78	<b>SUMA</b>	1724.41	1545.93
			<b>PROMEDIO</b>	55.63	49.87

#### 5.1.4 Generación fotovoltaica mes de febrero de 2021

En el mes de febrero de 2021, existieron días de mantenimiento por lo que no se muestra todos los datos de kWh, se muestra las gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.



**Figura 5.8 Datos de energía del sistema fotovoltaico 07-02-21**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.8* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **16.23kW** en el intervalo de tiempo de 11h36 a 11h37, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **15.93kW** en el intervalo de tiempo de 11h36 a 11h37, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.



**Figura 5.9 Datos de energía del sistema fotovoltaico 18-02-21**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.9* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de menor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **15.4kW** en el intervalo de tiempo de 14h16 a 14h17, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **14.2kW** en el intervalo de tiempo de 11h15 a 11h16, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido a un mantenimiento no se muestran datos en 3 horas del día aproximadamente.

Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de febrero de 2021:

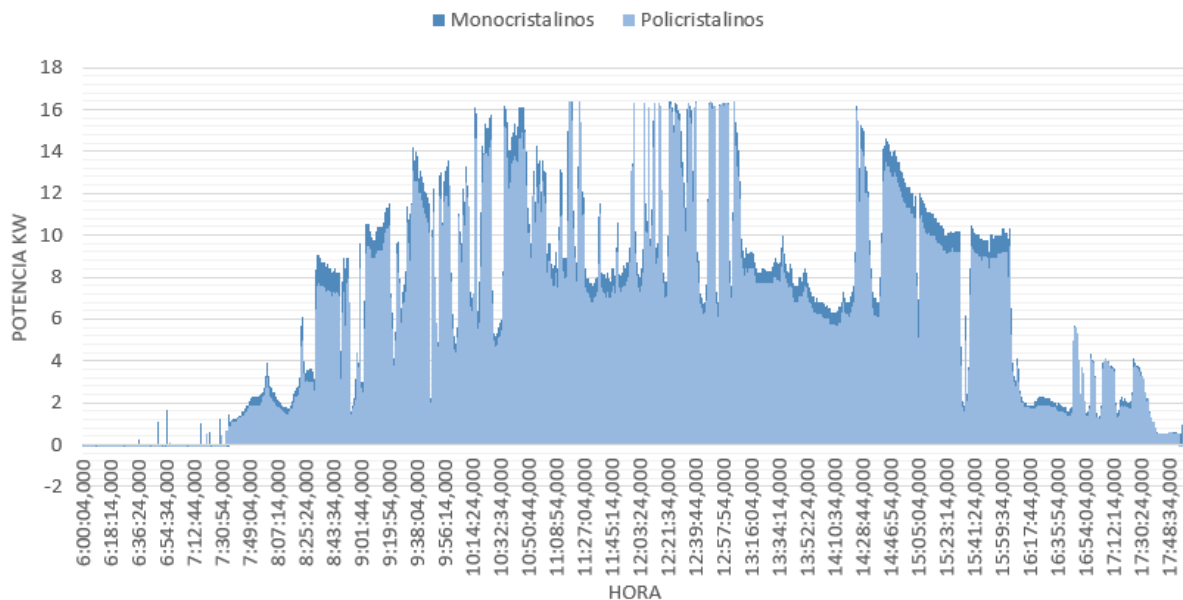
*Tabla 5.4 Energía captada de febrero de 2021*  
Fuente: Elaboración propia

<b>FEBRERO DE 2021(kWh)</b>					
<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>	<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>
01-feb-21	50.12	44.78	15-feb-21	65.21	58.63
02-feb-21	66.29	60.39	16-feb-21	59.96	54.42
03-feb-21	63.41	57.11	17-feb-21	63.94	57.27
04-feb-21	51.6	47.21	18-feb-21	20	30
05-feb-21	55.26	50.04	19-feb-21	28	26
06-feb-21	58.4	52.92	20-feb-21	56.96	51.8
07-feb-21	90.77	81.94	21-feb-21	54.41	48.95
08-feb-21	39.31	36.15	22-feb-21	26.31	24.31
09-feb-21	79.87	70.64	23-feb-21	26.23	23.14
10-feb-21	67.9	60.64	24-feb-21	53.02	48.36
11-feb-21	51.6	46.9	25-feb-21	24.77	22.43
12-feb-21	51.83	46.74	26-feb-21	47.25	43.78
13-feb-21	72.6	65.73	27-feb-21	0	0
14-feb-21	78.52	71.36	28-feb-21	0	0
<b>SUMA</b>				1403.54	1281.64
<b>PROMEDIO</b>				50.13	45.77

### 5.1.5 Generación fotovoltaica mes de marzo de 2021

En el mes de marzo de 2021, existieron días de mantenimiento por lo que no se muestra todos los datos de kWh, se muestra las gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.

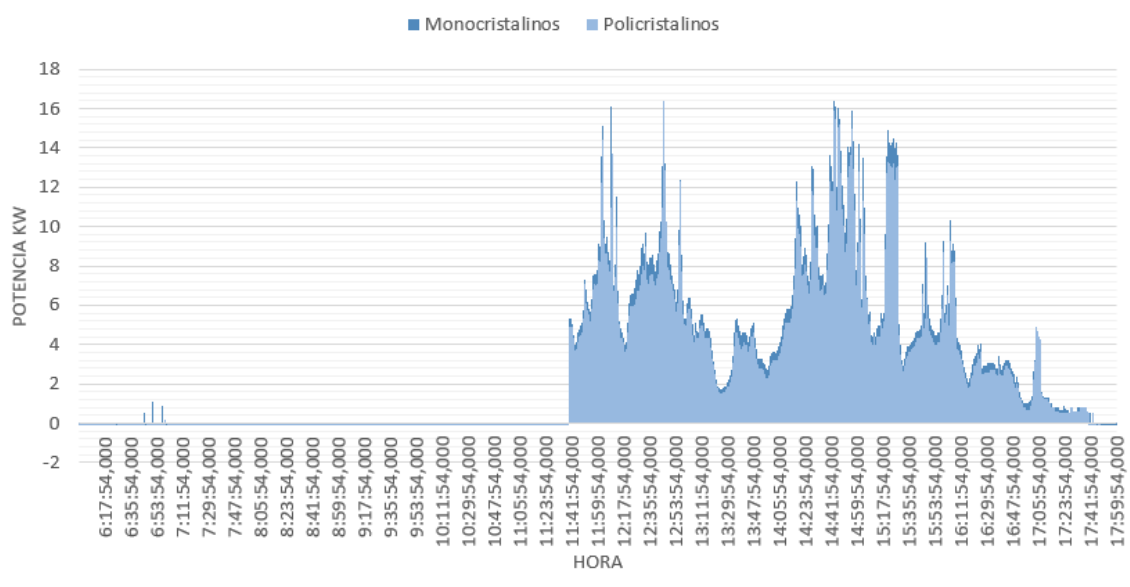




**Figura 5.10 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 26-03-21**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.10* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción energética del mes, el máximo valor para la tecnología de paneles monocristalino es **16.99kW** en el intervalo de tiempo de 12h21 a 12h23, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **16.5kW** en el intervalo de tiempo de 11h35 a 11h36, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.



**Figura 5.11 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 31-03-21**

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.11* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **16.2kW** en el intervalo de tiempo de 12h53 a 12h54, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **16.12kW** en el intervalo de tiempo de 14h41 a 14h42, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.

Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de marzo de 2021:

*Tabla 5.5 Energía captada de marzo del 2021*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>MARZO DE 2021(kWh)</b>					
<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>	<b>Día</b>	<b>Monocristalinos</b>	<b>Policristalinos</b>
01-mar-21	0	0	17-mar-21	0	0
02-mar-21	3.98	2.25	18-mar-21	65.21	60.89
03-mar-21	10.21	6.21	19-mar-21	43.86	39.79
04-mar-21	40.25	36.23	20-mar-21	38.32	35.26
05-mar-21	0	0	21-mar-21	66.2	60.56
06-mar-21	0	0	22-mar-21	73.13	65.98
07-mar-21	0	0	23-mar-21	68.58	62.32
08-mar-21	0	0	24-mar-21	44.25	40.26
09-mar-21	0	0	25-mar-21	74.22	67.68
10-mar-21	51.3	46.32	26-mar-21	78.12	71.32
11-mar-21	41.23	37.45	27-mar-21	46.52	41.23
12-mar-21	59.36	52.36	28-mar-21	61.53	55.95
13-mar-21	36.53	34.21	29-mar-21	40.24	36.59
14-mar-21	44.25	40.63	30-mar-21	51.55	46.95
15-mar-21	0	0	31-mar-21	32.23	28.81
16-mar-21	0	0	<b>SUMA</b>	1071.07	969.25
			<b>PROMEDIO</b>	34.55	31.27

### 5.1.6 Generación fotovoltaica mes de abril de 2021

En el mes de abril de 2021, no hubo ningún día de mantenimiento por lo que se muestra todos los datos y gráficas tanto del mayor como menor día de producción energética.

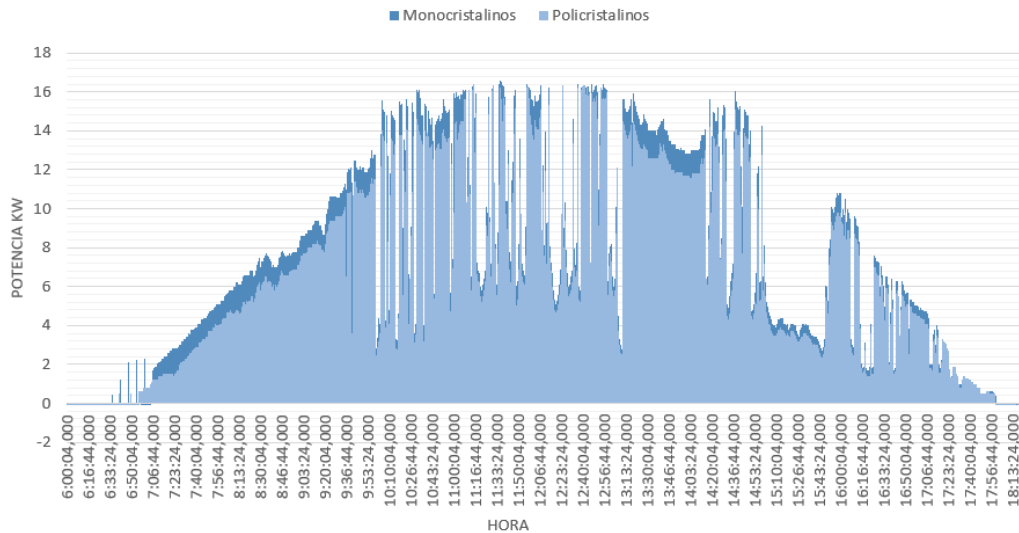


Figura 5.12 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 11-04-21

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.12* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de mayor producción solar del mes, el máximo valor de potencia para la tecnología de paneles monocristalino es **16.4kW** en el intervalo de tiempo de 11h26 a 11h27, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **15.3kW** en el intervalo de tiempo de 11h26 a 11h27, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.

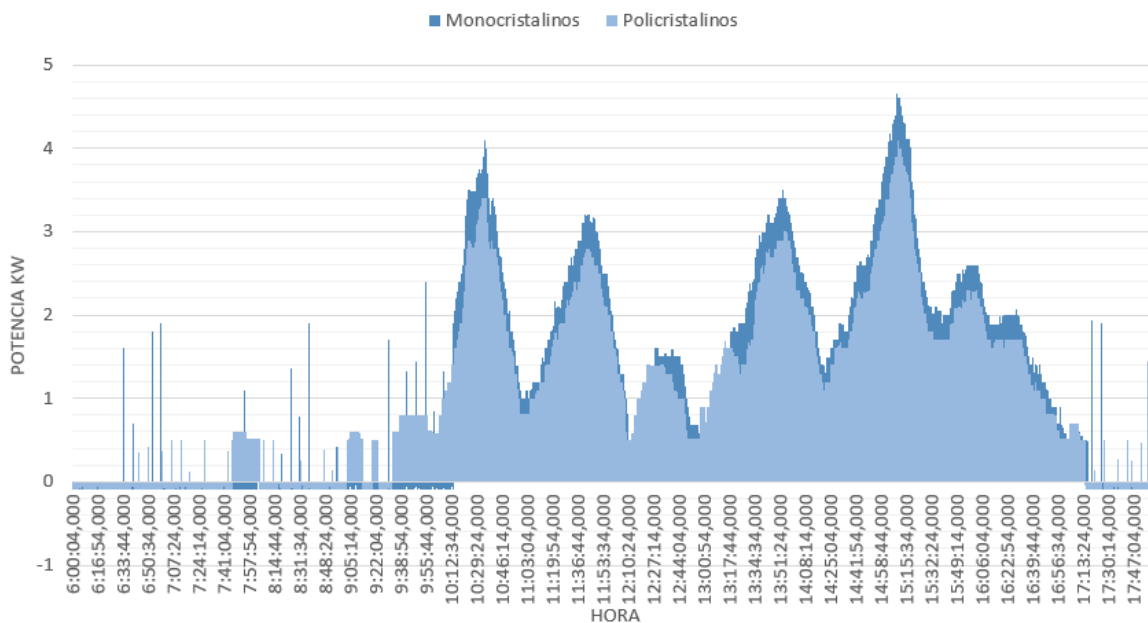


Figura 5.13 Datos de potencia del sistema fotovoltaico 30-04-21

*Fuente: Elaboración propia*

En la *fig. 5.13* se presenta los valores de potencia del sistema solar fotovoltaico en el día de menor producción solar del mes, el máximo valor para la tecnología de paneles monocristalino es **4.4kW** en el intervalo de tiempo de 15h6 a 15h17, en la tecnología de paneles policristalinos el máximo valor es de **4.01kW** en el intervalo de tiempo de 15h16 a 15h17, se muestra en la gráfica varios cambios bruscos en la obtención de datos, debido al paso de nubes que interfiere en la captación de datos aleatoriamente.

Se presenta una tabla de resumen del cálculo de kWh de todos los días de abril de 2021:

*Tabla 5.6 Energía captada de abril de 2021*  
*Fuente: Elaboración Propia*

ABRIL DE 2021(kWh)					
Día	Monocristalinos	Policristalinos	Día	Monocristalinos	Policristalinos
01-abr-21	22.99	21.98	16-abr-21	50.45	45.36
02-abr-21	64.77	54.68	17-abr-21	45.23	42.13
03-abr-21	49.95	45.17	18-abr-21	55.23	50.78
04-abr-21	53.013	47.52	19-abr-21	55.32	49.12
05-abr-21	57.28	52.13	20-abr-21	49.74	45.63
06-abr-21	27.23	24.78	21-abr-21	30.21	29.12
07-abr-21	33.22	30.74	22-abr-21	49.56	44.37
08-abr-21	25.12	20.13	23-abr-21	47.19	43.52
09-abr-21	50.66	44.72	24-abr-21	69.85	62.31
10-abr-21	83.65	75.21	25-abr-21	79.87	72.63
11-abr-21	83.21	74.32	26-abr-21	64.21	54.63
12-abr-21	26.12	24.63	27-abr-21	54.32	39.21
13-abr-21	42.53	38.26	28-abr-21	61.58	56.36
14-abr-21	42.66	38.54	29-abr-21	58.63	53.21
15-abr-21	59.77	54.69	30-abr-21	13.93	13.21
SUMA				1507.493	1349.09
PROMEDIO				50.25	44.97

### 5.1.7 Resumen de generación de kWh del sistema fotovoltaico.

En este punto se presenta una tabla que resume la generación de kWh del sistema fotovoltaico, que se muestra a continuación:

Tabla 5.7 Resumen mensual de generación del sistema fotovoltaico  
Fuente: Elaboración propia

Mes	Monocristalinos(kwh)	Policristalinos(kwh)	Promedio diario Mono (kwh)	Promedio diario Poli (kwh)
Noviembre	1337.64	1196.73	44.588	39.891
Diciembre	1701.21	1505.21	54.88	48.56
Enero	1724.41	1545.93	55.63	49.87
Febrero	1403.54	1281.64	50.13	45.77
Marzo	1071.07	969.25	34.55	31.27
Abril	1507.49	1349.09	50.25	44.97
<b>SUMA</b>	<b>8745.36</b>	<b>7847.85</b>		
<b>PROMEDIO</b>	<b>1457.56</b>	<b>1307.975</b>		

El sistema del campus Balzay consta de 60 paneles solares A-250M de marca Atersa de 250W con eficiencia de 15.35%(vease el Anexo 2), lo cual implica que el sistema tiene como máximo de generación 60 paneles solares x potencia de cada panel 250W que es igual a 15000 Watts.

Por lo tanto el sistema de generación solar sería de 15kWp (Kilovatio pico es la máxima que genera un panel o conjunto de paneles en las horas de máxima insolación), para poder interpolar un análisis económico calculamos el valor de generación de que tendría cada kWp aproximadamente para eso, utilizamos el valor de 8745.36kWh que es el valor de energía que produjo los 15kWp del sistema del campus Balzay, por lo tanto:

Se calcula los kWh para 1kWp con regla de 3:

**15kWp    8745.36kWh**

**1kWp            Y**

$$Y = \frac{8745.36kWh * 1kWp}{15kWp}$$

Y≈583.024 kWh por 6 meses por lo que para cada mes será igual a

M=Y/6

M≈97.17kWh por mes,

***Por lo tanto aproximadamente en la región de Cuenca 1kWp instalado de un sistema solar fotovoltaico monocristalino con eficiencia de 15.35% produce 97.17kWh por mes.***

De igual manera se calcula para los policristalinos que se usaron 60 paneles solares A-250P de la marca Atersa de 250 W con eficiencia del 15.35% (vease el Anexo 2), lo cual implica que el sistema tiene como máximo de generación 15000 Watts.

Por lo tanto el sistema de generación solar sería de 15kWp, para poder interpolar un análisis económico calculamos el valor de generación de que tendría cada kWp aproximadamente para eso, utilizamos el valor de 7847.85kWh que es el valor de energía que produjo los 15kWp del sistema del campus Balzay, por lo tanto:

Se calcula los kWh para 1kWp con regla de 3:

15kWp    7847.85kWh  
1kWp        Y

$$Y = \frac{7847.85kWh * 1kWp}{15kWp}$$

Y≈523.133 kWh por 6 meses por lo que para cada mes será igual a

P=Y/6

P≈87.19kWh por mes

***Por lo tanto aproximadamente en la región de Cuenca 1kWp instalado de un sistema solar fotovoltaico policristalino con eficiencia de 15.35% produce 87.19kWh por mes.***

Con estos valores obtenidos se procede a realizar un análisis económico para una vivienda, y el mismo campus Balzay de lo que se tiene conocimiento.

## **5.2 Materiales, impuestos, precios de costos, instalación y mantenimiento**

En esta sección se muestra todos los costos de un sistema fotovoltaico, y también se presenta la normativa ecuatoriana para generación micro fotovoltaica.

### **5.2.1 Normativa ecuatoriana**

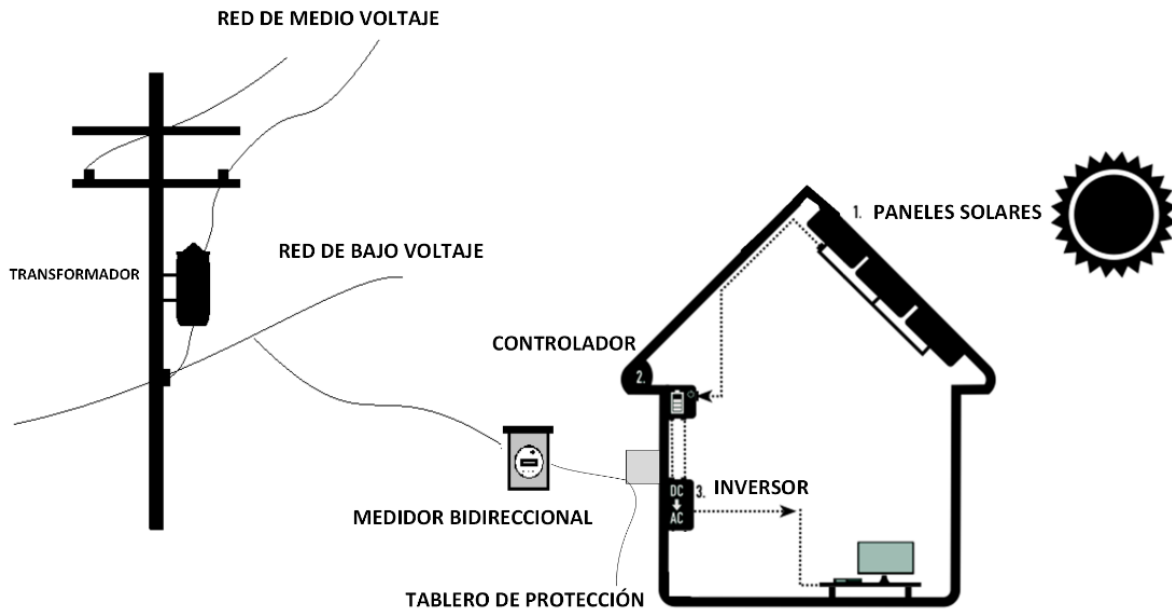
El artículo 15 de la Constitución del Ecuador dice lo siguiente:

*“Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”*

En consecuencia, con lo dispuesto en la Constitución, el ente regulador del sector eléctrico es la Agencia de Regulación y Control del Energía (ARCONEL), que establece que para el caso de la generación fotovoltaica se considerara la regulación ARCONEL-003-18 “Micro generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, en la que se establece las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de micro generación fotovoltaica; hasta una capacidad nominal instalada de 100 kW, ubicados en techos, superficies de viviendas o edificaciones. [35]

La presente regulación indica los aspectos que se debe cumplir para desarrollar un sistema fotovoltaico:

1. El proyecto debe conectarse con las redes de bajo o medio voltaje de la empresa de distribución, según el siguiente **esquema**:



*Figura 5.14* **Esquema de Conexión según ARCONEL**

*Fuente: Elaboración propia*

2. El interesado debe ser propietario del inmueble donde se va a instalar el Sistema Fotovoltaico.
3. El diseño del Sistema Fotovoltaico tiene como objeto reducir el consumo de energía de la red.
4. La instalación del Sistema Fotovoltaico está condicionado a la emisión de factibilidad de conexión de la empresa distribuidora.
5. La capacidad nominal instalada del Sistema Fotovoltaico no podrá ser mayor a 100 kW.

Los requerimientos técnicos son los siguientes:

- Diagrama unifilar de la instalación.
- Especificaciones generales del equipamiento.
- Esquema de conexión a la red de distribución de medio o bajo voltaje.
- Modo de conexión.
- Estudio del sistema de protecciones y equipo de seccionamiento.
- Aspectos técnicos complementarios respecto a las protecciones, a fin de cumplir con los estándares y requerimiento de la empresa de distribución.
- Número y potencia de los paneles fotovoltaicos.
- Potencia total instalada del sistema fotovoltaico.
- Estimación de la producción energética mensual y anual del proyecto.

- Características de los inversores.
- Potencia de cortocircuito.
- Las características del punto de entrega y medición [35]

En cuanto a la parte comercial de la energía producida, será destinada únicamente al autoconsumo de la edificación o de la vivienda. En caso de que existan excedentes de energía, la empresa de distribución realizara mensualmente el balance económico de la energía para su respectiva facturación.

$$\Delta E = \text{Energía consumida} - \text{Energía inyectada a la red}$$

Si  $\Delta E$  es menor a cero, la empresa de distribución valorara la energía consumida a la tarifa correspondiente aprobado por el ARCONEL. Por lo contrario, en el caso eventual de que exista un positivo de energía, la misma se pasa a un crédito de energía a favor del consumidor que se pasa hacia el siguiente mes; el periodo máximo de reseteo es de dos años. Además, el consumidor sin importar el caso de la factura deberá pagar los valores correspondientes a comercialización, alumbrado público, los rubros correspondientes a los bomberos y a la recolección de basura. De la misma manera, en el capítulo 3 indica los requerimientos técnicos como el control de potencia activa o reactiva, calidad de energía, sistemas de medición, etc. [35]

### 5.2.2 Beneficios de la instalación de la energía fotovoltaica en Ecuador

Como se conoce la energía solar, es un recurso renovable que genera energía limpia, y juega un rol muy importante en el aspecto medioambiental debido al enfoque amigable para la producción de energía eléctrica limpia sin contaminación. Debido a esto la sociedad ecuatoriana ofrece ciertos beneficios a quienes han optado por invertir en estas tecnologías, se han establecido incentivos económicos y tributarios para quienes hagan uso de estas tecnologías, los cuales se presentan a continuación:

- **BENEFICIOS ECONÓMICOS**

Costo cero en producción de energía eléctrica: para la instalación de los equipos la inversión inicial será el único costo, la misma que será recuperada con el ahorro generado por la producción de energía eléctrica con costo cero. Una vez recuperada la inversión con el ahorro de energía se obtendrán beneficios muy significativos.

Reducción altos rubros de consumo de energía eléctrica: la producción de energía eléctrica con costo cero implica que en horas pico no se incurra en costos por consumo y por ende los valores de la planilla de luz se reducen.



Utilización de energía solar como autoabastecimiento: La ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) reduce la tarifa mensual a quienes consumen más de 2000kw hora y generan autoabastecimiento con una “micro central” de hasta 500kw al mes.

Ahorro significativo en el tiempo: El ahorro será significativo en el transcurso del tiempo considerando que los índices macroeconómicos como la inflación tienden a aumentar, asimismo existen otros factores externos que ocasionarían un incremento en las tarifas de energía eléctrica como por ejemplo eliminación de subsidios, aumento en combustibles que producen energía eléctrica. [37]

- **BENEFICIOS TRIBUTARIOS**

Liberación de aranceles: al momento de importar equipos relacionados con la generación de energía eléctrica fotovoltaica, estos estarán libres de aranceles con el fin de abaratar costos lo cual genera mucho interés a medida que se va conociendo este beneficio.

Paneles Solares gravan tarifa 0% del IVA: el consumidor final no se verá afectado en su bolsillo debido a la tarifa del 0% del Impuesto al Valor Agregado que gravan estos productos.

Deducción adicional del 100% en depreciación y amortización de equipos para generación de energía de fuente renovable (solar): se deduce el 100% de forma adicional para la determinación de la base imponible para el cálculo del impuesto a la renta, dando origen a un ahorro significativo en el pago de este impuesto principalmente a las personas jurídicas. [37]Es importante mencionar que este beneficio será válido durante la vida útil de estos equipos, en este punto es importante aclarar lo siguiente:

1. El sueldo promedio en Ecuador según el INEC es de \$311.33 con fecha de 23 de abril de 2021, según el SRI la base imponible para un impuesto a la renta se tiene que pagar cuando una persona supera los 950 dólares de ingreso mensual, por lo que en su gran mayoría no paga este impuesto a la renta, y en caso de superar esos ingresos provocaría máximo un ahorro del 21% del máximo deducible del SRI para personas naturales que se encuentra en \$14709, por lo tanto no existe un ahorro significativo en personas naturales de este impuesto.
2. Para personas jurídicas existe muchos beneficios debido que prácticamente para la energía solar fotovoltaica el monto deducible es del 100% del precio del sistema fotovoltaico, durante el tiempo de vida del sistema, generalmente un sistema fotovoltaico tiene vida útil de 12 años por lo que se puede deducir 8.33% del gasto del sistema fotovoltaico cada año dando de cierta forma un ahorro.

### 5.2.3 Costos de instalación y de componentes para campus Balzay.

Es importante tomar en cuenta antes de una instalación de este tipo de paneles el lugar en el que se pretende adecuar, los requerimientos físicos para este caso debe ser el lugar más alto posiblemente una azotea, techo, etc. Se debe tomar en cuenta las adecuaciones físicas a realizar, y el tiempo previsto generalmente tarda 1 a 2 semanas, estos valores económicos generalmente se tienen previsto en las horas hombres. [43]

Para la elaboración de precios se toma los valores que indican los fabricantes en sus respectivas páginas web, todos los productos son de origen español a excepción de los inversores Fronius que son de origen austriaco; para la conversión monetaria se tomó el valor referencial de 1,22 dólares/euro que corresponde al 31 de mayo del 2021.

#### 5.2.3.1 Costos instalación monocristalinos fijos para el campus Balzay.

Los modelos más económicos encontrados para satisfacer los 15kWp del parque fotovoltaico del Campus Balzay, se muestran en la *fig. 5.15* estos se pueden encontrar en la página <https://atersa.shop/>, es una página con precios accesibles, el envío a Ecuador no tendría costo por la cantidad de inversión que se realiza, para hallar una conversión sencilla de los 15kWp necesarios realizamos una división 15000Watts del sistema para 395Watts del panel, esta división es igual a 37.97 equivalente a 38 paneles solares A-395M, estos paneles fotovoltaicos tienen eficiencia de 19.92% ( Véase Anexo 3) a precio unitario 153.37€ respectivamente representa 187.56\$.



Figura 5.15 **Precio Panel Solar Monocristalino.**

*Fuente: atersa.shop*

De igual manera el inversor encontrado en la página de atersa.com seleccionaron dos modelos Fronius Symo 15.03 a precio de 2921.40€ equivalentes a 3571.85\$, que se presentan en la *fig. 5.16*.



**Inversor Fronius Symo 15.0-3-M**

**2.921,40€**

**Figura 5.16 Precio Inversor Fronius Symo.**

*Fuente: atersa.shop*

Finalmente, para cada 5 paneles solares fotovoltaicos, se necesita una estructura de soporte en la página de *atersa.com* se selecciona el modelo más económico a precio de 143.99€ equivalentes a 176.11\$, para este caso se necesitan 8 de cada uno debido que son 38 paneles fotovoltaicos, que se presentan en la *fig. 5.17*.



**Estructura coplanar para 5  
módulos y montaje en  
cubierta inclinada**

**143,99€**

**Figura 5.17 Precio Estructuras de soporte.**

*Fuente: atersa.shop*

Tabla 5.8 Listado de precios policristalinos fijos 15kWp  
Fuente: atersa.shop, dhl.com

Monocrystalinos Fijos 15kWp					
Materiales					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL (Impuestos 0%)
38	Paneles Solares Fotovoltaicos	Atersa	187.56\$	7127.28\$	7127.28\$
1	Inversor	Fronius	3571.85\$	3571.85\$	3571.85\$
8	Estructura para 5 módulos	Atersa	176.11\$	1408.88\$	1408.88\$
400	1 metro de cable solar 10mm RV-K	Atersa	1.63\$	652\$	652\$
38	Fusibles	Atersa	12\$	456\$	456\$
1	Medidor Bidireccional	Fronius	392\$	392\$	392\$
TOTAL					13608.01
INSTALACIÓN Y MONTAJE					Iva 12%
1	Sistema de seguridad de acceso		560\$	560\$	627.20\$
100	1 hora hombre		8\$	800	896\$
1	Envío Aduana -Cuenca		60.71		68
TOTAL					1591.2\$
GASTOS TOTALES					15199.21\$

### 5.2.3.2 Costos instalación policristalinos fijos para el campus Balzay.

Los modelos más económicos encontrados para satisfacer los 15kWp del parque fotovoltaico del Campuz Balzay, se muestran en la *fig. 5.18* estos se pueden encontrar en la página <https://atersa.shop/>, es una página con precios accesibles, el envío a Ecuador no tendría costo por la cantidad de inversión que se realiza, para hallar una conversión sencilla de los 15kWp necesarios realizamos una división 15000Watts del sistema para 335Watts del panel, esta división es igual a 44.77 equivalente a 45 paneles solares A-335P, estos paneles fotovoltaicos tienen eficiencia de 17.26%( Véase Anexo 4) a precio unitario 116.99€ respectivamente representa 143.08\$.



**Figura 5.18 Precio Panel Solar Policristalinos.**

Fuente: *atersa.shop*

Finalmente, se utiliza el mismo inversor de la *fig. 5.16*, a su vez se necesita la misma estructura de soporte en la página de *atersa.com*, que se presentan en la *fig. 5.17*, para este caso se necesitan 9 de cada uno debido que son 45 paneles fotovoltaicos.

*Tabla 5.9 Listado de precios policristalinos fijos 15kWp*

Fuente: *atersa.shop, dhl.com*

Policristalinos Fijos 15kWp					
Materiales					
CANTIDAD	MATERIAL	MARC A	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL (Impuestos 0%)
45	Paneles Solares Fotovoltaicos	Atersa	143.08\$	6438.6\$	6438.6\$
1	Inversor	Fronius	3571.85\$	3571.85\$	3571.85\$
9	Estructura para 5 módulos	Atersa	176.11\$	1584.99\$	1584.99\$
400	1 metro de cable solar 10mm RV-K	Atersa	1.63\$	652\$	652\$
38	Fusibles	Atersa	12\$	456\$	456\$
1	Medidor Bidireccional	Fronius	392\$	392\$	392\$
TOTAL					13095.44\$
INSTALACIÓN Y MONTAJE					<b>12%</b>
1	Sistema de seguridad de acceso		560\$	560\$	627.20\$
100	1 hora hombre		8\$	800	896\$
1	Envío Aduana -Cuenca		60.71		68
TOTAL					1534.68\$
GASTOS TOTALES					<b>14630.12\$</b>

#### 5.2.4 Costos de instalación y de componentes para una vivienda.

Lo primero que se debe hacer en este caso, es un cálculo de los kWp necesarios para el hogar, como ya calculamos en la sección 5.1.7, los valores son:

- Aproximadamente 97.17kWh por mes para 1kWp de paneles monocristalinos.
- Aproximadamente 87.19kWh por mes para 1kWp de paneles policristalinos.

Con estos valores es necesario saber el consumo de energía de una familia promedio, lo cual, según el Banco Pichincha, el consumo de energía de un hogar ecuatoriano oscila entre los 130 kWh por mes. [37] Lo ideal para un sistema fotovoltaico es que satisfaga las necesidades de una casa promedio, , con este valor procedemos a realizar la siguiente regla de 3:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kWp} & 97.17\text{kWh} \\ M & 130\text{kWh} \\ M = \frac{130\text{kWh} * 1\text{kWp}}{97.17\text{kWh}} \\ M = 1.33\text{kWp} \approx 1.4 \text{ kWp} \end{array}$$

Para paneles policristalinos seria

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kWp} & 87.19\text{kWh} \\ P & 130\text{kWh} \\ P = \frac{130\text{kWh} * 1\text{kWp}}{87.19\text{kWh}} \\ P = 1.49\text{kWp} \approx 1.5 \text{ kWp} \end{array}$$

Con estos números procedemos a calcular los costos de instalación tanto para monocristalinos y policristalinos.

##### 5.2.4.1 Costos instalación monocristalinos fijos para una vivienda.

El mejor panel solar monocristalino en relación potencia-precio es el mismo de la *fig. 5.13*, el panel solar A-395M, el cual para este caso son necesarios 1400W necesarios del sistema dividido para 395W del panel solar dándonos 3.54 que en este caso lo ideal sería usar 4 paneles solares A-395M, que en la sección 5.2.3.1 el precio es de 187.56\$.

El inversor de la sección 5.2.3.1 no se puede usar para este análisis debido que el anterior en sus especificaciones técnica soporta hasta 15kWp, para este caso necesitamos un inversor que soporte 1.4kWp, en la *fig. 5.19* se presenta el mejor inversor de marca Red Solis para una vivienda (*Véase Anexo 5*), el precio indica 498.69€ equivalente a 610.04\$



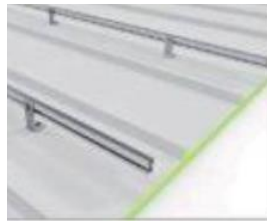
**Inversor Red Solis Mini  
2000 4G**

**498,69€**

**Figura 5.19 Inversor sistema fotovoltaico.**

*Fuente: atersa.shop*

Finalmente, para 4 paneles solares fotovoltaicos, se necesita una estructura de soporte en la página de *atersa.com* se selecciona el modelo más económico a precio de 124.30€ equivalentes a 152.06\$, se presenta en la *fig. 5.20*.



**Estructura coplanar para 4  
módulos y montaje en  
cubierta inclinada**

**124,30€**

**Figura 5.20 Soporte de paneles solares.**

*Fuente: atersa.shop*

Tabla 5.10 Listado precio monocristalinos Vivienda  
Fuente: atersa.shop, dhl.com

Monocristalinos Fijos 1.4kWp					
Materiales					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL (Impuestos 0%)
4	Paneles Solares Fotovoltaicos	Atersa	187.56\$	750.24\$	750.24\$
1	Inversor	Red Solis	610.04\$	610.04\$	610.04\$
1	Estructura para 4 módulos	Atersa	152.06\$	152.06\$	152.06\$
37	1 metro de cable solar 10mm RV-K	Atersa	1.6216\$	60\$	60\$
4	Fusibles	Atersa	12\$	48\$	48\$
1	Medidor Bidireccional	Fronius	392\$	392\$	392\$
TOTAL					2012.34\$
INSTALACIÓN Y MONTAJE					12%
25	1 hora hombre		8.0492\$	201.23\$	225.37\$
1	Envío Aduana -Cuenca		60.71		68
TOTAL					293.37\$
GASTOS TOTALES					2305.71\$

#### 5.2.4.2 Costos instalación policristalinos fijos para una vivienda.

El mejor panel solar policristalino en relación potencia-precio es el mismo de la *fig. 5.16*, el panel solar A-335P, el cual para este caso son necesarios 1500W necesarios del sistema dividido para 335W del panel solar dándonos 3.47 que en este caso lo ideal sería usar 5 paneles solares A-335P, que en la sección 5.2.3.2 el precio es de 143.08\$. El inversor de la sección 5.2.4.1 se puede usar para este análisis debido que en sus especificaciones técnica soporta 1.5kWp y su precio es de 610.04\$, el mejor soporte de estructura económicamente evaluado en la página es el mismo de la *fig. 5.18* con un precio 152.06\$.

A continuación, se muestra el listado de precios con todos los elementos necesarios para el sistema policristalinos fijos para vivienda:



Tabla 5.11 Listado de precios de Policristalinos Vivienda  
Fuente: atersa.shop, dhl.com

Policristalinos Fijos 1.5kWp					
Materiales					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL (Impuestos 0%)
5	Paneles Solares Fotovoltaicos	Atersa	\$143.08	\$715.4	\$715.4
1	Inversor	Red Solis	\$610.04	\$610.04	\$610.04
1	Estructura para 4 módulos	Atersa	\$152.06	\$152.06	\$152.06
37	1 metro de cable solar 10mm RV-K	Atersa	1.6216\$	60\$	60\$
4	Fusibles	Atersa	12\$	48\$	48\$
1	Medidor Bidireccional	Fronius	392\$	392\$	392\$
TOTAL					\$1977.50
INSTALACIÓN Y MONTAJE					
25	1 hora hombre		8.0492\$	201.23\$	225.37\$
1	Envío Aduana -Cuenca		60.71		68
TOTAL					\$289.48
GASTOS TOTALES					\$2266.98

### 5.3 Cálculos de viabilidad económica

Para determinar los cálculos de viabilidad económica, primero debemos determinar algunas variables las cuales:

- **Generación fotovoltaica anual**

Calculamos esta generación a través de los datos que obtuvimos en la sección 5.1.7 de donde  $M \approx 97.17 \text{ kWh}$  por mes para monocristalinos, y  $P \approx 87.19 \text{ kWh}$  por mes para policristalinos. Para este estudio se va interpolar los kWh obtenidos anteriormente con los probables kWh, que mejoran con unos paneles solares modernos por lo tanto:

a) **Generación Anual Monocristalinos Campus Balzay**

Este calculo lo realizamos de la siguiente manera:

Para 1kWp se produce 97.17kWh mensual, para calcular la producción anual, multiplico por 12 meses lo cual me da un valor de 1166.04kWh anual, como se muestra en la sección 5.1.7 el sistema fotovoltaico del campus Balzay tiene 15kWp por lo tanto anualmente el sistema produce la multiplicación de  $15 \times 1166.04 \text{ kWh}$  equivalente a un total de 17490kWh para los paneles monocristalinos.

Ahora interpolamos los paneles solares del campus Balzay de marca A-250M con eficiencia de 15.35%, con los paneles fotovoltaicos con mejor tecnología como los de la fig. 5.13 de marca A-394M con eficiencia de 19.92%, la variación de eficiencia entre paneles se obtiene realizando una resta de  $19.92\% - 15.35\%$  lo que equivale 4.57%.

Por lo tanto con esa mejora en la eficiencia se debería obtener aproximadamente un 4.57% más de generación de kWh, para calcular esto simplemente usamos la siguiente fórmula.

$$GAMCB = (0.0457 * 17490kWh) + 17490kWh$$
$$\mathbf{GAMCB = 18289.29kWh}$$

Donde:

GAMCB : Generación Anual Monocristalinos Campus Balzay

*b) Generación Anual Policristalinos Campus Balzay*

Este calculo lo realizamos de la siguiente manera:

Para 1kWp se produce 87.19kWh mensual, para calcular la producción anual, multiplico por 12 meses lo cual me da un valor de 1046.28kWh anual, como se muestra en la sección 5.1.7 el sistema fotovoltaico del campus Balzay tiene 15kWp por lo tanto anualmente el sistema produce la multiplicación de 15\*1046.28kWh equivalente a un total de 15694.2kWh para los paneles cristalinos.

Ahora interpolamos los paneles solares del campus Balzay de marca A-250M con eficiencia de 15.35%, con los paneles fotovoltaicos con mejor tecnología como los de la *fig. 5.13* de marca A-335P con eficiencia de 17.26%, la variación de eficiencia entre paneles se obtiene realizando una resta de 17.26%-15.35% lo que equivale 1.91%.

Por lo tanto con esa mejora en la eficiencia se debería obtener aproximadamente un 1.91% más de generación de kWh, para calcular esto simplemente usamos la siguiente fórmula.

$$GAPCB = (0.0191 * 15694.2kWh) + 15694.2kWh$$
$$\mathbf{GAPCB = 15993.95kWh}$$

Donde:

GAPCB : Generación Anual Policristalinos Campus Balzay

*c) Generación Anual Monocristalinos Vivienda*

Este calculo lo realizamos de la siguiente manera:

Para 1kWp se produce 97.17kWh mensual, para calcular la producción anual, multiplico por 12 meses lo cual me da un valor de 1166.04kWh anual, como se muestra en la sección 5.3 el sistema fotovoltaico de una vivienda promedio tiene 1.4kWp por lo tanto anualmente el sistema produce la multiplicación de 1.4\*1166.04kWh equivalente a un total de 1632.45kWh para los paneles monocristalinos.

Ahora interpolamos los paneles solares del campus Balzay de marca A-250M con eficiencia de 15.35%, con los paneles fotovoltaicos con mejor tecnología como los de la *fig. 5.13* de marca A-394M con eficiencia de 19.92%, la variación de eficiencia entre paneles se obtiene realizando una resta de 19.92%-15.35% lo que equivale 4.57%.

Por lo tanto con esa mejora en la eficiencia se debería obtener aproximadamente un 4.57% más de generación de kWh, para calcular esto simplemente usamos la siguiente fórmula.

$$GAMV = (0.0457 * 1632.45kWh) + 1632.45kWh$$

$$\mathbf{GAMV = 1707.05kWh}$$

Donde:

GAMV : Generación Anual Monocristalinos Viviendas

#### *d) Generación Anual Policristalinos Vivienda*

Este calculo lo realizamos de la siguiente manera:

Para 1kWp se produce 87.19kWh mensual, para calcular la producción anual, multiplico por 12 meses lo cual me da un valor de 1046.28kWh anual, como se muestra en la sección 5.1.7 el sistema fotovoltaico del campus Balzay tiene 1.5kWp por lo tanto anualmente el sistema produce la multiplicación de  $1.5 * 1046.28kWh$  equivalente a un total de 1569.42kWh para los paneles cristalinos.

Ahora interpolamos los paneles solares del campus Balzay de marca A-250M con eficiencia de 15.35%, con los paneles fotovoltaicos con mejor tecnología como los de la *fig. 5.13* de marca A-335P con eficiencia de 17.26%, la variación de eficiencia entre paneles se obtiene realizando una resta de 17.26%-15.35% lo que equivale 1.91%.

Por lo tanto con esa mejora en la eficiencia se debería obtener aproximadamente un 1.91% más de generación de kWh, para calcular esto simplemente usamos la siguiente fórmula.

$$GAPV = (0.0191 * 1569.42kWh) + 1569.42kWh$$

$$\mathbf{GAPV = 1599.395kWh}$$

Donde:

GAPV : Generación Anual Policristalinos Vivienda

*Con estos valores, procedemos a calcular la viabilidad económica, para cada caso además se tiene que tomar en cuenta que la vida útil de los paneles solares es de 20 años, pero de los inversores es de 10 años hasta un máximo de 14 años por lo tanto utilizamos **un valor medio que sería 12 años**.*

#### 5.3.1 Cálculos de viabilidad monocristalinos campus Balzay.

Para hacer una comparación se va suponer que el Campus de Balzay de la Universidad de Cuenca, es equivalente a una empresa con ingresos activos, que pagan impuesto a la renta, por lo tanto, se procede a calcular los ingresos que produce el sistema fotovoltaico:

El precio de la tarifa estándar del kWh es de \$0.1, pero el costo de peaje de transmisión de la Centrosur que suministra energía para la ciudad de Cuenca es de \$0.0059/kWh [40], por lo tanto, el ingreso anual será de:

$$\mathbf{Ingresos\ anuales = GAMCB * 0.1 - GAMCB * 0.0059}$$

$$\text{Ingresos anuales} = 18289.29kWh * \$0.1 - 18289.29kWh * \$0.0059$$

$$\text{Ingresos anuales} = 1721.02\$$$

El ahorro en impuesto a la renta, procedemos a calcular una aproximación con interpolación: Suponiendo que la utilidad de una empresa son \$30000, \$50000 y \$100000 anuales, el precio de inversión de los paneles solares fotovoltaicos monocristalinos es de \$15199, para un ingreso de \$30000, \$50000 y \$100000 los impuestos a la renta serán el 25% anual de la utilidad por lo que, equivale a \$7500, \$12500 y \$25000, respectivamente, si restamos el deducible del 100% como se presenta en la sección 5.2.2, en cada caso pagaría:

Tabla 5.12 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta Monocristalinos  
Fuente: Elaboración Propia

Utilidad	Activos Deducidos (Activos-Precio Sistema fotovoltaico)	Impuesto Renta anterior (Activos*0.25)	Nuevo Impuesto Renta (Activos Deducidos)*0.25	Ahorro Total (Impuesto renta anterior-Nuevo impuesto renta)	Ahorro por cada año (Ahorro Total/12)
\$30000	\$14801	\$7500	\$3700.25	\$3799.75	\$316.64
\$50000	\$34801	\$12500	\$8700.25	\$3799.75	\$316.64
\$100000	\$84801	\$25000	\$21200.25	\$3799.75	\$316.64

Como se destaca de la tabla 5.12 tendríamos un ahorro anual de \$316.64 durante 12 años, que es el tiempo de vida útil de un sistema fotovoltaico, por lo que los ingresos totales serían de:

$$\text{Ingresos Totales Anuales} = \$1,721.02 + \$316.64 = \$2,037.66$$

Otro valor a tomar en cuenta, es el mantenimiento que tiene un costo de 20\$ dólares debido que cada 3 meses se recomienda limpiar el polvo y suciedades que se puedan acumular en el panel solar fotovoltaico, el precio anual es equivalente a \$80 anuales, en este caso ese pago es para las dos tecnologías de la universidad lo que nos daría un total de \$40 anuales para cada tecnología, el precio de inversión ya fue calculado en la sección 5.2.3.1, por lo tanto:

Tabla 5.13 Cálculos viabilidad económica monocristalinos campus Balzay  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$15,199.00		0	<b>-\$15,199.00</b>
1		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
2		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
3		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
4		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
5		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
6		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
7		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
8		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
9		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
10		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
11		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
12		\$2,037.66	\$40.00	\$1,997.66
		<b>VNA</b>		<b>\$23,971.92</b>
		<b>VAN</b>		<b>\$8,772.92</b>
		<b>TIR</b>		<b>8%</b>
		<b>PAYBACK</b>		<b>7.437196486</b>

En este proyecto se muestra un VAN y TIR positivo lo que hace muy atractivo la posibilidad de inversión económica, tiene un tiempo de retorno de casi 7.43 años, como se ve anteriormente la vida útil de un inversor solar fotovoltaico es de 10 a 12 años en el mejor de los casos, por lo tanto se podría decir que es un proyecto factible, debido que se tendrá una ganancia de 3 a 4 años, como se observó previamente en la sección 2.7 para escoger un proyecto se debería evaluar donde se muestre un VAN y TIR positivo como en este caso.

### 5.3.2 Cálculos de viabilidad policristalinos campus Balzay.

Para hacer una comparación se va suponer que el Campus de Balzay de la Universidad de Cuenca, es equivalente a una empresa con ingresos activos, que pagan impuesto a la renta, por lo tanto, se procede a calcular los ingresos que produce el sistema fotovoltaico:

El precio de la tarifa estándar del kWh es de \$0.1, pero el costo de peaje de transmisión de la Centrosur que suministra energía para la ciudad de Cuenca es de \$0.0059/kWh, [40] por lo tanto, el ingreso anual será de:

$$\text{Ingresos anuales} = \text{GAPCB} * 0.1 - \text{GAPCB} * \$0.0059$$

$$\text{Ingresos anuales} = 15993.95\text{kWh} * \$0.1 - 15993.95\text{kWh} * \$0.0059$$

$$\text{Ingresos anuales} = 1505.03\$$$

El ahorro en impuesto a la renta, procedemos a calcular una aproximación con interpolación: Suponiendo que la utilidad de una empresa son \$30000, \$50000 y \$100000 anuales, el precio de inversión de los paneles solares fotovoltaicos policristalinos es de \$15199, para un ingreso de \$30000, \$50000 y \$100000 los impuestos a la renta serán el 25% anual de la utilidad por lo que, equivale a \$7500, \$12500 y \$25000, respectivamente, si restamos el deducible del 100% como se presenta en la sección 5.2.2, en cada caso pagaría:

Tabla 5.14 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta policristalinos  
Fuente: Elaboración Propia

Utilidad	Activos Deducidos (Activos-Precio Sistema fotovoltaico)	Impuesto Renta anterior (Activos*0.25)	Nuevo Impuesto Renta (Activos Deducidos)*0.25	Ahorro Total (Impuesto renta anterior-Nuevo impuesto renta)	Ahorro por cada año (Ahorro Total/12)
\$30000	\$15370	\$7500	\$3842.5	\$3657.5	\$304.79
\$50000	\$35370	\$12500	\$8842.5	\$3657.5	\$304.79
\$100000	\$85370	\$25000	\$21342.50	\$3657.5	\$304.79

Como se destaca de la tabla anterior tendríamos un ahorro anual de \$304.79 durante 12 años, que es el tiempo de vida útil de un sistema fotovoltaico, por lo que los ingresos totales serían de:

$$\text{Ingresos Totales Anuales} = \$1505.03 + \$304.79 = \$1809.82$$

Otro valor a tomar en cuenta, es el mantenimiento que tiene un costo de 20\$ dólares cada 3 meses para limpiar polvo suciedades equivalente a \$40 anuales por esta tecnología, el precio de inversión ya fue calculado en la sección 5.2.3.2, por lo tanto:

Tabla 5.15 Cálculos viabilidad económica policristalinos Campus Balzay

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$14,630.00		0	-\$14,630.00
1		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
2		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
3		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
4		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
5		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
6		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
7		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
8		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
9		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
10		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
11		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
12		\$1,809.82	\$40.00	\$1,769.82
		<b>VNA</b>		<b>\$21,237.84</b>
		<b>VAN</b>		<b>\$6,607.84</b>
		<b>TIR</b>		<b>6%</b>
		<b>PAYBACK</b>		<b>8.3630986</b>

En este proyecto se muestra un VAN y TIR positivo lo que hace muy atractivo la posibilidad de inversión económica, tiene un tiempo de retorno de casi 8 años, como se ve anteriormente la vida útil de un inversor solar fotovoltaico es de 10 a 12 años en el mejor de los casos, por lo tanto se podría decir que es un proyecto factible, debido que se tendrá una ganancia de 3 a 4 años, como se observó previamente en la sección 2.7 para escoger un proyecto se debería evaluar donde se muestre un VAN y TIR positivo como en este caso.

### 5.3.3 Cálculos viabilidad económica sistema completo

Para hacer una comparación se va suponer que el Campus de Balzay de la Universidad de Cuenca, es equivalente a una empresa con ingresos activos, que pagan impuesto a la renta, por lo tanto, se procede a calcular los ingresos que produce el sistema fotovoltaico:

Del sistema completo, el ingreso total sería a suma de ambas tecnologías por lo que

$$\text{Ingreso} = \$1505.03 + \$1721.02$$

$$\text{Ingreso} = \$3226.05$$

El ahorro en impuesto a la renta, procedemos a calcular una aproximación con interpolación: Suponiendo que la utilidad de una empresa son \$30000, \$50000 y \$100000 anuales, el precio de inversión de los paneles solares fotovoltaicos monocristalinos es de \$15199, para un ingreso de \$30000, \$50000 y \$100000 los impuestos a la renta serán el 25% anual de la utilidad por lo que, equivale a \$7500, \$12500 y \$25000, respectivamente, si restamos el deducible del 100% como se presenta en la sección 5.2.2, en cada caso pagaría:

Tabla 5.16 Cálculos ahorro de Impuesto a la renta sistema completo

Fuente: Elaboración Propia

Utilidad	Activos Deducidos (Activos-Precio Sistema fotovoltaico)	Impuesto Renta anterior (Activos*0.25)	Nuevo Impuesto Renta (Activos Deducidos)*0.25	Ahorro Total (Impuesto renta anterior-Nuevo impuesto renta)	Ahorro por cada año (Ahorro Total/12)
\$30000	\$1171	\$7500	\$292.75	\$7207.25	\$600.60
\$50000	\$21171	\$12500	\$5292.75	\$7207.25	\$600.60
\$100000	\$71171	\$25000	\$17792.75	\$7207.25	\$600.60

Como se destaca de la tabla anterior tendríamos un ahorro anual de \$600.60 durante 12 años, que es el tiempo de vida útil de un sistema fotovoltaico, por lo que los ingresos totales serían de:

$$\text{Ingresos Totales Anuales} = \$3226.05 + \$600.60 = \$3826.65$$

El mantenimiento en este caso si sería completamente los \$80 dólares anuales, por lo tanto:

Tabla 5.17 Cálculos viabilidad económica Sistema completo Campus Balzay

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$28,829.00		0	<b>-\$28,829.00</b>
1		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
2		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
3		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
4		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
5		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
6		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
7		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
8		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
9		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
10		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
11		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
12		\$3,826.65	\$80.00	\$3,746.65
		<b>VNA</b>		<b>\$44,959.80</b>
		<b>VAN</b>		<b>\$16,130.80</b>
		<b>TIR</b>		<b>8%</b>
		<b>PAYBACK</b>		<b>7.112232</b>



En este proyecto se muestra un VAN y TIR positivo, está sería la opción más atractiva para una inversión debido al VAN y TIR positivos, y el menor tiempo de recuperación de los proyectos vistos, esto nos da como conclusión que mientras más alta sea la inversión en paneles solares fotovoltaicos, mayo será la rentabilidad del proyecto.

### 5.3.3 Cálculos de viabilidad monocristalinos de una vivienda.

El precio de la tarifa estándar del kWh es de \$0.1, por lo tanto, el ingreso anual será de:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos anuales} &= \text{GAMV} * \$0.1 - \text{GAMV} * \$0.0059 \\ \text{Ingresos anuales} &= 1707.05\text{kWh} * 0.1\$ - 1707.05\text{kWh} * 0.0059\$ \\ \text{Ingresos anuales} &= \$160.63 \end{aligned}$$

El precio de limpiar el polvo de paneles solares es aproximadamente de \$10 dólares cada 3 meses, por lo tanto, para un año el valor será \$40 para quitar el polvo de 4 módulos fotovoltaicos, el precio de inversión ya fue calculado en la sección 5.2.4.1, por lo tanto:

Tabla 5.18 Cálculos viabilidad económica monocristalinos Vivienda  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$2,305.71		0	<b>-\$2,305.71</b>
1		\$160.63	\$40.00	\$120.63
2		\$160.63	\$40.00	\$120.63
3		\$160.63	\$40.00	\$120.63
4		\$160.63	\$40.00	\$120.63
5		\$160.63	\$40.00	\$120.63
6		\$160.63	\$40.00	\$120.63
7		\$160.63	\$40.00	\$120.63
8		\$160.63	\$40.00	\$120.63
9		\$160.63	\$40.00	\$120.63
10		\$160.63	\$40.00	\$120.63
11		\$160.63	\$40.00	\$120.63
12		\$160.63	\$40.00	\$120.63
		<b>VNA</b>		<b>\$1,447.56</b>
		<b>VAN</b>		<b>-\$858.15</b>
		<b>TIR</b>		<b>-7%</b>
		<b>PAYBACK</b>		<b>12.66</b>

En este proyecto se muestra un VAN y TIR negativo, por lo que rápidamente se puede concluir que no es una inversión económica rentable, obsérvese de igual manera que el tiempo de retorno es de 12.66 años lo cual hace un escenario negativo, dado que la vida útil del inversor fotovoltaico oscila entre 10 a 12 años.

### 5.3.3.1 Análisis para impuesto a la renta para viviendas con tecnología monocristalina

Para realizar el análisis de cuanto se debe pagar de impuesto a la renta se utilizará, la tabla de impuesto a la renta del SRI, véase la Tabla 5.19,

Tabla 5.19 Tabla de impuesto a la renta  
Fuente: SRI

AÑO 2021 en dólares			
Fracción Básica	Exceso hasta	% Impuesto sobre la Fracción Excedente	Valor a pagar sin deducibles
0	11.212	0%	0
11.212	14.285	5%	714.25
14.285	17.854	10%	1785.4
17.854	21.442	12%	2570.64
21.442	42.874	15%	6431.10
42.874	64.297	20%	12859.4
64.297	85.729	25%	21432.25
85.729	114.288	30%	34286.4
114.288	En adelante	35%	No def.

Cabe destacar que el impuesto a la renta solo paga personas con facturas e ingresos mayores a \$11212 en un año, de estos para una vivienda se puede deducir como máximo \$3643.9, por lo tanto, usaremos el programa Risk Simulator, para simular un escenario más probable de ahorro, para ello utilizamos valores del INEC, para calcular los valores promedio que se puede deducir, como un escenario más probable, por lo tanto, estos valores son los más probables de deducir para una vivienda:

-Según el INEC el gasto promedio de las personas es de \$150 anuales en servicio de agua potable y gas, no se toma en cuenta el servicio de energía eléctrica porque el sistema fotovoltaico sustenta este recurso.

-Según el INEC el gasto promedio en servicio de televisión por suscripción del país es de \$249 anuales.

-Según el INEC el gasto promedio en servicio de internet y telefonía fija es de \$360. [42]

Podemos hacer un promedio de deducibles en conjunto que sería la suma de todos estos valores de \$150+\$249+\$360 dando un total de \$759 dólares que se pueden deducir en gastos de vivienda, a esto debemos sumar la depreciación anual que se puede hacer al equipo de paneles solares, que es equivalente a la inversión de \$2305.71 dividido entre 12 años de vida útil, es decir \$2305/12

dando un equivalente de \$192.08, que le sumamos al valor anteriormente calculado de \$759 dando un total de \$951.08 como valor promedio que se deduce una familia en vivienda.

Con este valor se tiene tres datos importantes, el valor mínimo de deducción que en este caso es de \$192.08, el valor promedio que es igual a \$951.08 y el valor máximo que es igual a \$3643.9, estos valores son supuestos como beneficios del proyecto con el objetivo de fomentar la implementación de este tipo de energías limpias.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$14285.09 y 5% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

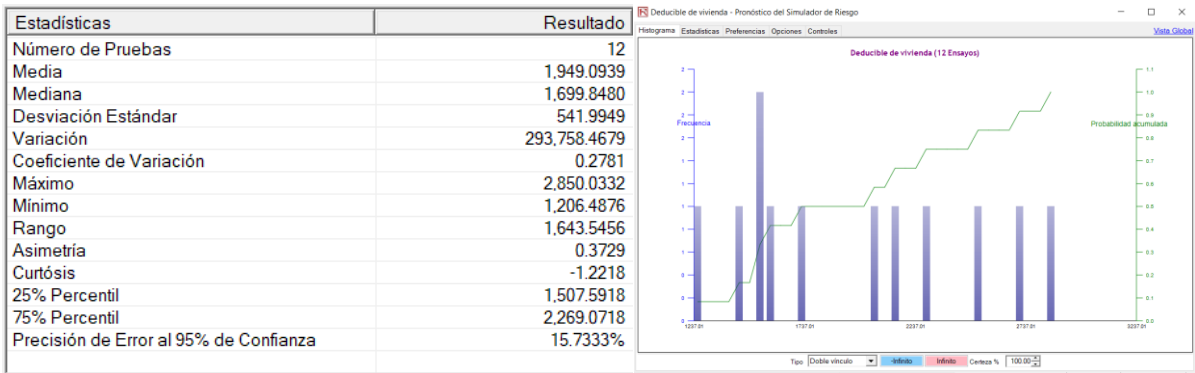


Figura 5.21 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 5%.  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.20 Cálculo viabilidad económica monocristalinos para impuesto a la renta 5%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$61.85	\$182.48	\$9.60	\$130.23
2		\$120.63	\$136.85	\$257.48	\$9.60	\$130.23
3		\$120.63	\$142.81	\$263.44	\$9.60	\$130.23
4		\$120.63	\$72.87	\$193.50	\$9.60	\$130.23
5		\$120.63	\$86.85	\$207.48	\$9.60	\$130.23
6		\$120.63	\$80.47	\$201.10	\$9.60	\$130.23
7		\$120.63	\$111.85	\$232.48	\$9.60	\$130.23
8		\$120.63	\$99.94	\$220.57	\$9.60	\$130.23
9		\$120.63	\$100.02	\$220.65	\$9.60	\$130.23
10		\$120.63	\$80.47	\$201.10	\$9.60	\$130.23
11		\$120.63	\$120.00	\$240.63	\$9.60	\$130.23
12		\$120.63	\$93.78	\$214.41	\$9.60	\$130.23
			<b>VNA</b>	<b>\$2,635.32</b>		<b>\$1,562.76</b>
			<b>VAN</b>	<b>\$329.61</b>		<b>-\$742.95</b>
			<b>TIR</b>	<b>2%</b>		<b>-6%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>10.06</b>		<b>12.74</b>

En la tabla 5.20 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 10.06 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.74 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$17854 y 10% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.22 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

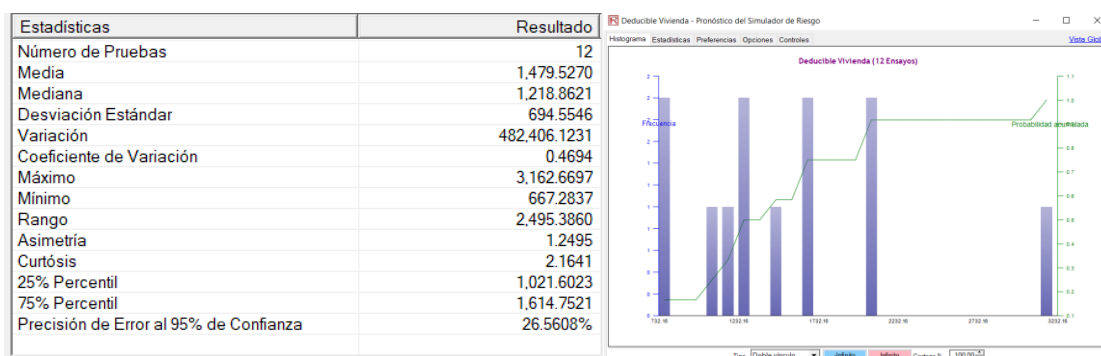


Figura 5.22 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 10%.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.21 Cálculo viabilidad económica monocristalinos para impuesto a la renta 10%

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$73.01	\$193.64	\$19.21	\$139.84
2		\$120.63	\$86.61	\$207.24	\$19.21	\$139.84
3		\$120.63	\$142.81	\$263.44	\$19.21	\$139.84
4		\$120.63	\$111.61	\$232.24	\$19.21	\$139.84
5		\$120.63	\$55.06	\$175.69	\$19.21	\$139.84
6		\$120.63	\$49.36	\$169.99	\$19.21	\$139.84
7		\$120.63	\$110.62	\$231.25	\$19.21	\$139.84
8		\$120.63	\$89.27	\$209.90	\$19.21	\$139.84
9		\$120.63	\$100.02	\$220.65	\$19.21	\$139.84
10		\$120.63	\$80.47	\$201.10	\$19.21	\$139.84
11		\$120.63	\$161.61	\$282.24	\$19.21	\$139.84
12		\$120.63	\$45.01	\$165.64	\$19.21	\$139.84
VNA				\$2,553.02		\$1,678.08
VAN				\$247.31		-\$627.63
TIR				2%		-5%
PAYBACK				10.04		12.66

En la tabla 5.21 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 10.04 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.66 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$21442 y 12% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.23 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

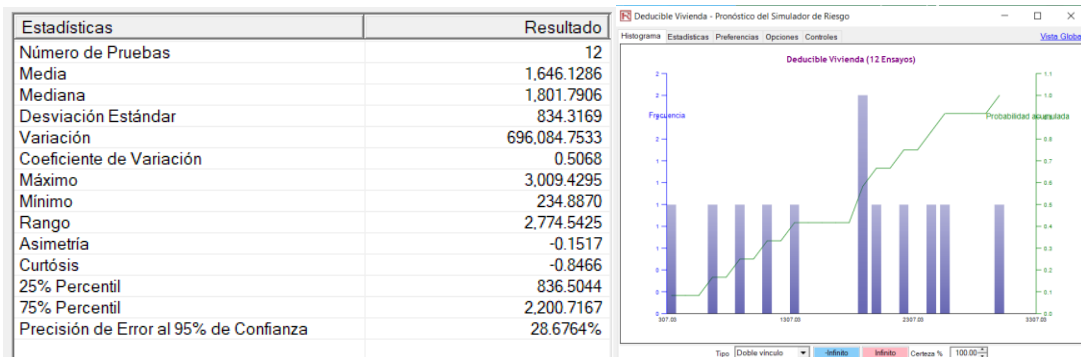


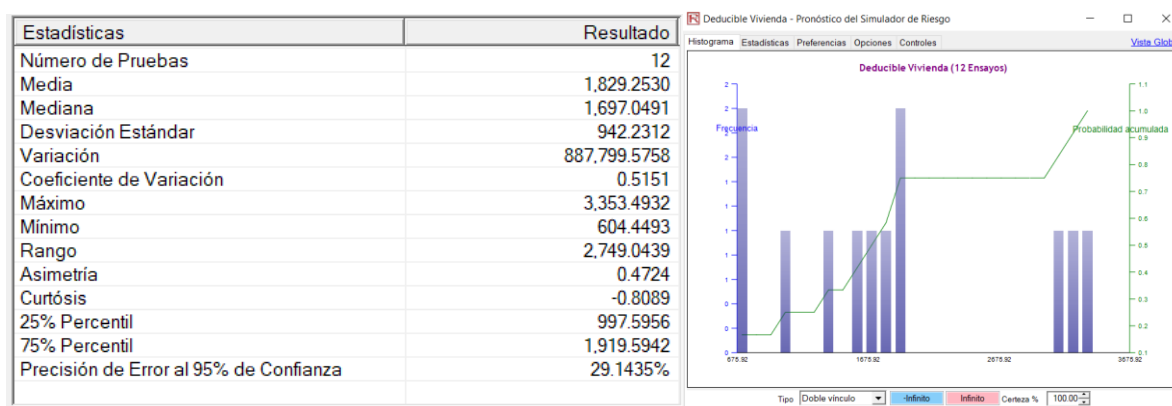
Figura 5.23 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta 12%  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.22 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 12%.  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$34.44	\$155.07	\$23.05	\$143.68
2		\$120.63	\$205.46	\$326.09	\$23.05	\$143.68
3		\$120.63	\$45.84	\$166.47	\$23.05	\$143.68
4		\$120.63	\$58.32	\$178.95	\$23.05	\$143.68
5		\$120.63	\$70.44	\$191.07	\$23.05	\$143.68
6		\$120.63	\$117.60	\$238.23	\$23.05	\$143.68
7		\$120.63	\$154.48	\$275.11	\$23.05	\$143.68
8		\$120.63	\$211.84	\$332.47	\$23.05	\$143.68
9		\$120.63	\$237.65	\$358.28	\$23.05	\$143.68
10		\$120.63	\$190.72	\$311.35	\$23.05	\$143.68
11		\$120.63	\$385.46	\$506.09	\$23.05	\$143.68
12		\$120.63	\$274.44	\$395.07	\$23.05	\$143.68
VNA				\$3,434.25		\$1,724.16
VAN				\$1,128.54		-\$581.55
TIR				6%		-4%
PAYBACK				9.23		12.15

En la tabla 5.22 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 9.23 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.15 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$42874 y 15% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.24 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.



**Figura 5.24 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 15%**  
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 5.23 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 15%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$101.29	\$221.92	\$28.81	\$149.44
2		\$120.63	\$81.42	\$202.05	\$28.81	\$149.44
3		\$120.63	\$103.80	\$224.43	\$28.81	\$149.44
4		\$120.63	\$405.60	\$526.23	\$28.81	\$149.44
5		\$120.63	\$134.64	\$255.27	\$28.81	\$149.44
6		\$120.63	\$117.60	\$238.23	\$28.81	\$149.44
7		\$120.63	\$198.60	\$319.23	\$28.81	\$149.44
8		\$120.63	\$186.60	\$307.23	\$28.81	\$149.44
9		\$120.63	\$396.12	\$516.75	\$28.81	\$149.44
10		\$120.63	\$210.60	\$331.23	\$28.81	\$149.44
11		\$120.63	\$385.46	\$506.09	\$28.81	\$149.44
12		\$120.63	\$222.60	\$343.23	\$28.81	\$149.44
			<b>VNA</b>	<b>\$3,991.89</b>		<b>\$1,793.28</b>
			<b>VAN</b>	<b>\$1,686.18</b>		<b>-\$512.43</b>
			<b>TIR</b>	<b>9%</b>		<b>-4%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>8.06</b>		<b>12.08</b>

En la tabla 5.23 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 8.06 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.08 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$64297 y 20% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.25 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.



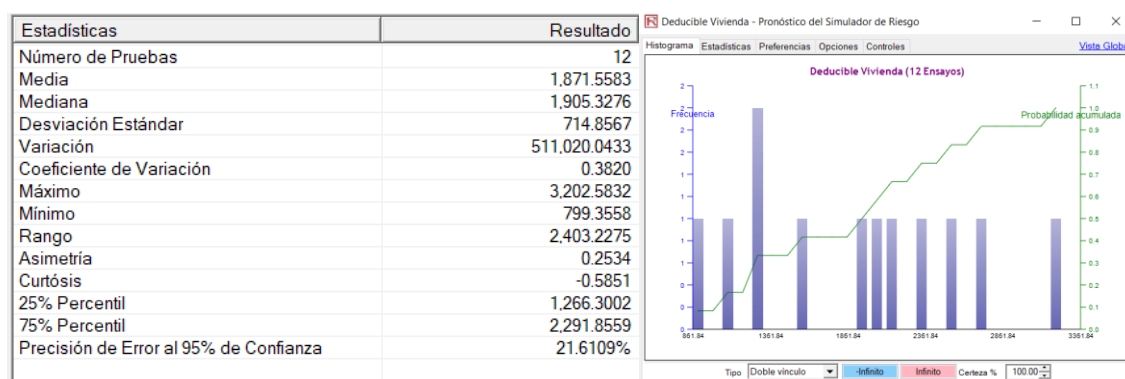


Figura 5.25 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 20%  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.24 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 20%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$129.05	\$249.68	\$38.42	\$159.05
2		\$120.63	\$400.92	\$521.55	\$38.42	\$159.05
3		\$120.63	\$103.80	\$224.43	\$38.42	\$159.05
4		\$120.63	\$160.92	\$281.55	\$38.42	\$159.05
5		\$120.63	\$134.64	\$255.27	\$38.42	\$159.05
6		\$120.63	\$225.60	\$346.23	\$38.42	\$159.05
7		\$120.63	\$220.92	\$341.55	\$38.42	\$159.05
8		\$120.63	\$237.60	\$358.23	\$38.42	\$159.05
9		\$120.63	\$261.60	\$382.23	\$38.42	\$159.05
10		\$120.63	\$210.60	\$331.23	\$38.42	\$159.05
11		\$120.63	\$280.92	\$401.55	\$38.42	\$159.05
12		\$120.63	\$297.60	\$418.23	\$38.42	\$159.05
VNA				\$4,111.73		\$1,908.60
VAN				\$1,806.02		-\$397.11
TIR				10%		-3%
PAYBACK				7.23		12.06

En la tabla 5.24 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 7.23 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.06 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$85729 y 25% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.26 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

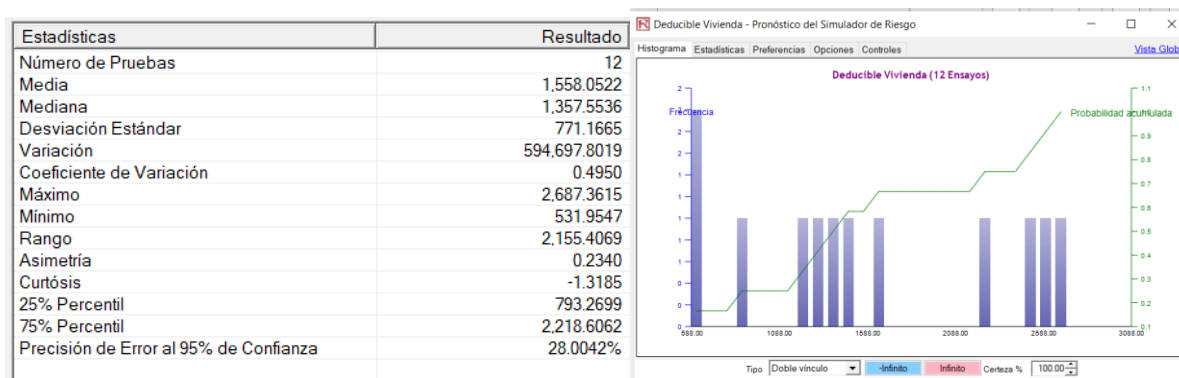


Figura 5.26 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 25%  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.25 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 25%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$99.05	\$219.68	\$48.03	\$168.66
2		\$120.63	\$68.16	\$188.79	\$48.03	\$168.66
3		\$120.63	\$105.60	\$226.23	\$48.03	\$168.66
4		\$120.63	\$141.60	\$262.23	\$48.03	\$168.66
5		\$120.63	\$153.60	\$274.23	\$48.03	\$168.66
6		\$120.63	\$165.60	\$286.23	\$48.03	\$168.66
7		\$120.63	\$188.16	\$308.79	\$48.03	\$168.66
8		\$120.63	\$237.60	\$358.23	\$48.03	\$168.66
9		\$120.63	\$248.16	\$368.79	\$48.03	\$168.66
10		\$120.63	\$333.60	\$454.23	\$48.03	\$168.66
11		\$120.63	\$317.76	\$438.39	\$48.03	\$168.66
12		\$120.63	\$308.16	\$428.79	\$48.03	\$168.66
VNA				\$3,814.61		\$2,023.92
VAN				\$1,508.90		-\$281.79
TIR				7%		-2%
PAYBACK				8.73		12.04

En la tabla 5.25 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 8.73 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.04 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$114288 y 30% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$192.08, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$951.08, con un error de la media de 5%, en la figura 5.27 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

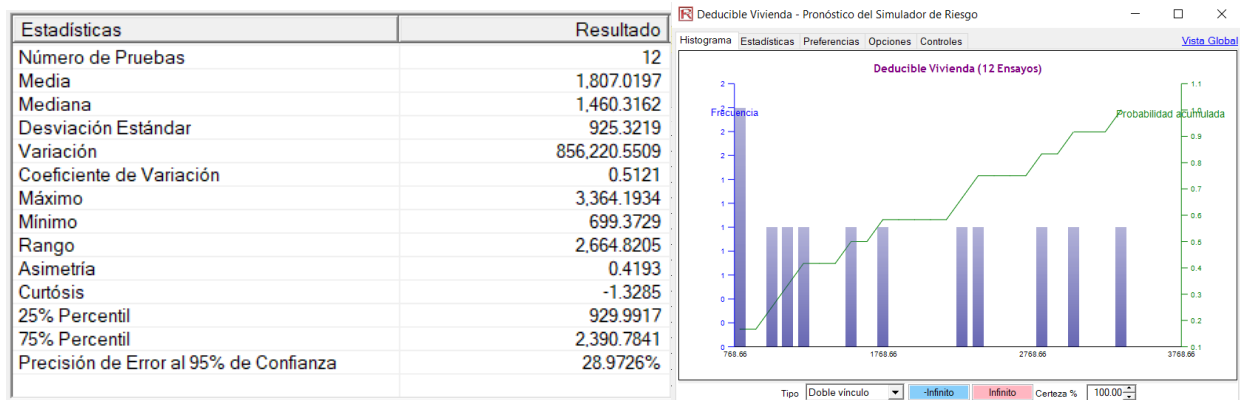


Figura 5.27 **Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 30%**  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.26 Cálculos viabilidad económica monocristalinos impuesto a la renta 30%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$120.63	\$197.90	\$318.53	\$57.64	\$178.27
2		\$120.63	\$176.00	\$296.63	\$57.64	\$178.27
3		\$120.63	\$269.60	\$390.23	\$57.64	\$178.27
4		\$120.63	\$359.60	\$480.23	\$57.64	\$178.27
5		\$120.63	\$389.60	\$510.23	\$57.64	\$178.27
6		\$120.63	\$419.60	\$540.23	\$57.64	\$178.27
7		\$120.63	\$476.00	\$596.63	\$57.64	\$178.27
8		\$120.63	\$599.60	\$720.23	\$57.64	\$178.27
9		\$120.63	\$626.00	\$746.63	\$57.64	\$178.27
10		\$120.63	\$839.60	\$960.23	\$57.64	\$178.27
11		\$120.63	\$800.00	\$920.63	\$57.64	\$178.27
12		\$120.63	\$776.00	\$896.63	\$57.64	\$178.27
		VNA		\$7,377.06		\$2,139.24
		VAN		\$5,071.35		-\$166.47
		TIR		19%		-1%
		PAYBACK		5.23		12.012

En la tabla 5.26 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 5.23 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.012 años lo que no hace rentable la inversión.

#### 5.3.4 Cálculos de viabilidad policristalinos de una vivienda.

$$\text{GAPV}=1599.395\text{kWh}$$

El precio de la tarifa estándar del kWh es de \$0.1, por lo tanto, el ingreso anual será de:

$$\text{Ingresos anuales} = \text{GAPV} * \$0.1 - \text{GAPV} * \$0.0059 = 1599.395\text{kWh} * 0.1\$ - 1599.395\text{kWh} * 0.0059\$$$

$$\text{Ingresos anuales} = 150.50\$$$

El precio de limpiar el polvo de paneles solares es aproximadamente de \$10 dólares cada 3 meses, por lo tanto, para un año el valor será \$40 para quitar el polvo de 4 módulos fotovoltaicos, el precio de inversión ya fue calculado en la sección 5.2.3.2, por lo tanto:

Tabla 5.27 Cálculos viabilidad económica policristalinos vivienda  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$2,305.71		0	-\$2,305.71
1		\$150.50	\$40.00	\$110.63
2		\$150.50	\$40.00	\$110.63
3		\$150.50	\$40.00	\$110.63
4		\$150.50	\$40.00	\$110.63
5		\$150.50	\$40.00	\$110.63
6		\$150.50	\$40.00	\$110.63
7		\$150.50	\$40.00	\$110.63
8		\$150.50	\$40.00	\$110.63
9		\$150.50	\$40.00	\$110.63
10		\$150.50	\$40.00	\$110.63
11		\$150.50	\$40.00	\$110.63
12		\$150.50	\$40.00	\$110.63
		VNA		\$1,327.56
		VAN		-\$978.15
		TIR		-8%
		PAYBACK		12.96

En este proyecto se muestra un VAN y TIR negativo, por lo que de igual manera que en la sección anterior rápidamente se puede concluir que no es una inversión económica rentable, con un tiempo de retorno de 12.96 años, por lo tanto, para viviendas no resulta atractivo una inversión en paneles solares fotovoltaicos.

#### 5.3.4.1 Análisis para impuesto a la renta para viviendas con tecnología policristalina

Como se ve en la subsección 5.3.3.1 el promedio obtenido que generalmente se deduce de vivienda es equivalente a \$759 a este valor le sumamos la depreciación a 12 años de nuestro sistema solar fotovoltaico que equivale a la división  $\$2266.98/12$  dando un valor de \$188.91, lo que en total un valor promedio de  $\$759+\$188.91$  siendo equivalente a \$947.91

Con este valor se tiene tres datos importantes, el valor mínimo de deducción que en este caso es de \$188.91, el valor promedio que es igual a \$947.91 y el valor máximo que es igual a \$3643.9.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$14285.09 y 5% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9

y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.28 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

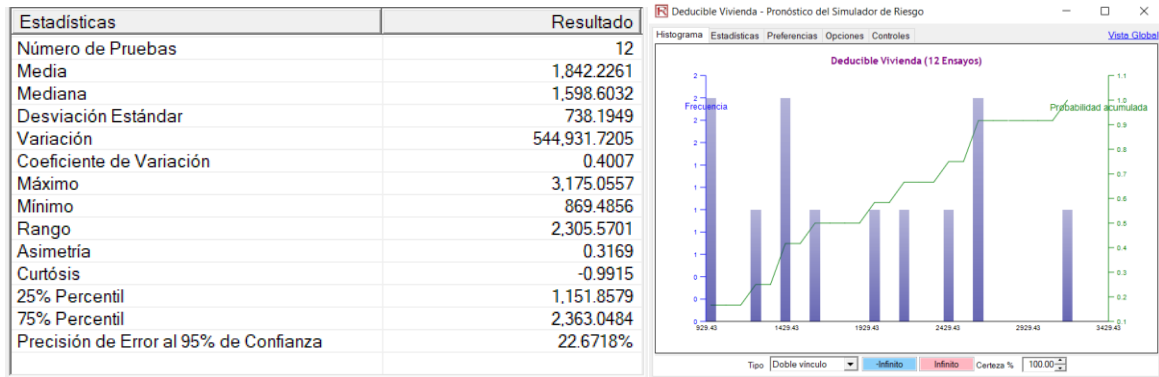


Figura 5.28 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 5%.  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.28 Cálculo viabilidad económica policristalinos para impuesto a la renta 5%.  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$33.05	\$143.55	\$9.44	\$119.94
2		\$110.50	\$29.40	\$139.90	\$9.44	\$119.94
3		\$110.50	\$45.00	\$155.50	\$9.44	\$119.94
4		\$110.50	\$60.00	\$170.50	\$9.44	\$119.94
5		\$110.50	\$65.00	\$175.50	\$9.44	\$119.94
6		\$110.50	\$70.00	\$180.50	\$9.44	\$119.94
7		\$110.50	\$79.40	\$189.90	\$9.44	\$119.94
8		\$110.50	\$100.00	\$210.50	\$9.44	\$119.94
9		\$110.50	\$104.40	\$214.90	\$9.44	\$119.94
10		\$110.50	\$140.00	\$250.50	\$9.44	\$119.94
11		\$110.50	\$133.40	\$243.90	\$9.44	\$119.94
12		\$110.50	\$129.40	\$239.90	\$9.44	\$119.94
		VNA		\$2,315.05		\$1,439.28
		VAN		\$9.34		-\$866.43
		TIR		0%		-7%
		PAYBACK		12		12.84

En la tabla 5.28 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 12 años lo que la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo no existen pérdidas ni ganancias para un

escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.84 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$17854 y 10% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

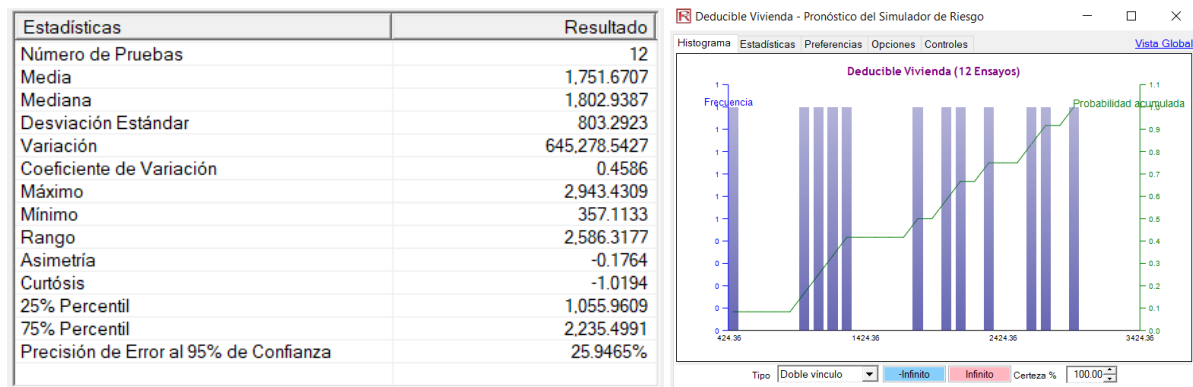


Figura 5.29 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 10%.

Fuente: Elaboración Propia

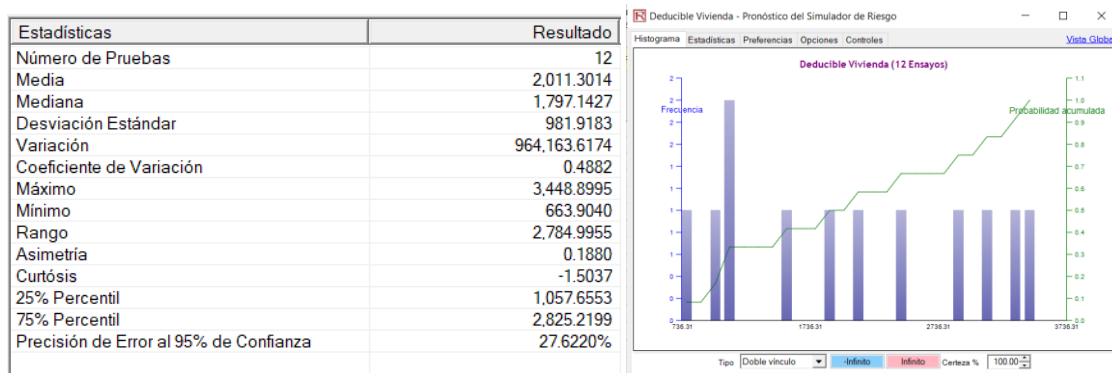
Tabla 5.29 Cálculo viabilidad económica policristalinos para impuesto a la renta 10%

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$66.10	\$176.60	\$18.89	\$129.39
2		\$110.50	\$58.80	\$169.30	\$18.89	\$129.39
3		\$110.50	\$90.00	\$200.50	\$18.89	\$129.39
4		\$110.50	\$120.00	\$230.50	\$18.89	\$129.39
5		\$110.50	\$130.00	\$240.50	\$18.89	\$129.39
6		\$110.50	\$140.00	\$250.50	\$18.89	\$129.39
7		\$110.50	\$158.80	\$269.30	\$18.89	\$129.39
8		\$110.50	\$200.00	\$310.50	\$18.89	\$129.39
9		\$110.50	\$208.80	\$319.30	\$18.89	\$129.39
10		\$110.50	\$280.00	\$390.50	\$18.89	\$129.39
11		\$110.50	\$266.80	\$377.30	\$18.89	\$129.39
12		\$110.50	\$258.80	\$369.30	\$18.89	\$129.39
VNA				\$3,304.10		\$1,552.68
VAN				\$998.39		-\$753.03
TIR				5%		-6%
PAYBACK				9.65		12.64

En la tabla 5.29 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 9.65 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.64 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$21442 y 12% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.



*Figura 5.30* **Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta 12%**  
Fuente: Elaboración propia

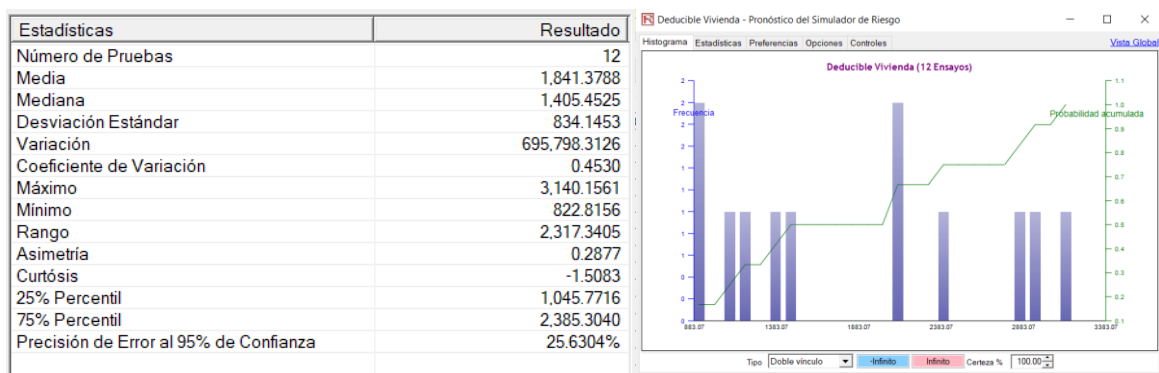


Tabla 5.30 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 12%  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$76.92	\$187.42	\$22.66	\$133.16
2		\$110.50	\$68.16	\$178.66	\$22.66	\$133.16
3		\$110.50	\$105.60	\$216.10	\$22.66	\$133.16
4		\$110.50	\$141.60	\$252.10	\$22.66	\$133.16
5		\$110.50	\$153.60	\$264.10	\$22.66	\$133.16
6		\$110.50	\$165.60	\$276.10	\$22.66	\$133.16
7		\$110.50	\$188.16	\$298.66	\$22.66	\$133.16
8		\$110.50	\$237.60	\$348.10	\$22.66	\$133.16
9		\$110.50	\$248.16	\$358.66	\$22.66	\$133.16
10		\$110.50	\$333.60	\$444.10	\$22.66	\$133.16
11		\$110.50	\$317.76	\$428.26	\$22.66	\$133.16
12		\$110.50	\$308.16	\$418.66	\$22.66	\$133.16
			<b>VNA</b>	<b>\$3,670.92</b>		<b>\$1,597.92</b>
			<b>VAN</b>	<b>\$1,365.21</b>		<b>-\$707.79</b>
			<b>TIR</b>	<b>7%</b>		<b>-5%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>8.87</b>		<b>12.56</b>

En la tabla 5.30 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 8.87 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.56 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$42874 y 15% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.



**Figura 5.31 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 15%**  
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.31 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 15%**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$99.15	\$209.65	\$28.37	\$138.87
2		\$110.50	\$88.20	\$198.70	\$28.37	\$138.87
3		\$110.50	\$135.00	\$245.50	\$28.37	\$138.87
4		\$110.50	\$180.00	\$290.50	\$28.37	\$138.87
5		\$110.50	\$195.00	\$305.50	\$28.37	\$138.87
6		\$110.50	\$210.00	\$320.50	\$28.37	\$138.87
7		\$110.50	\$238.20	\$348.70	\$28.37	\$138.87
8		\$110.50	\$300.00	\$410.50	\$28.37	\$138.87
9		\$110.50	\$313.20	\$423.70	\$28.37	\$138.87
10		\$110.50	\$420.00	\$530.50	\$28.37	\$138.87
11		\$110.50	\$400.20	\$510.70	\$28.37	\$138.87
12		\$110.50	\$388.20	\$498.70	\$28.37	\$138.87
VNA				\$4,293.15		\$1,666.44
VAN				\$1,987.44		-\$639.27
TIR				9%		-5%
PAYBACK				7.89		12.48

En la tabla 5.31 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 7.89 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.48 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$64297 y 20% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

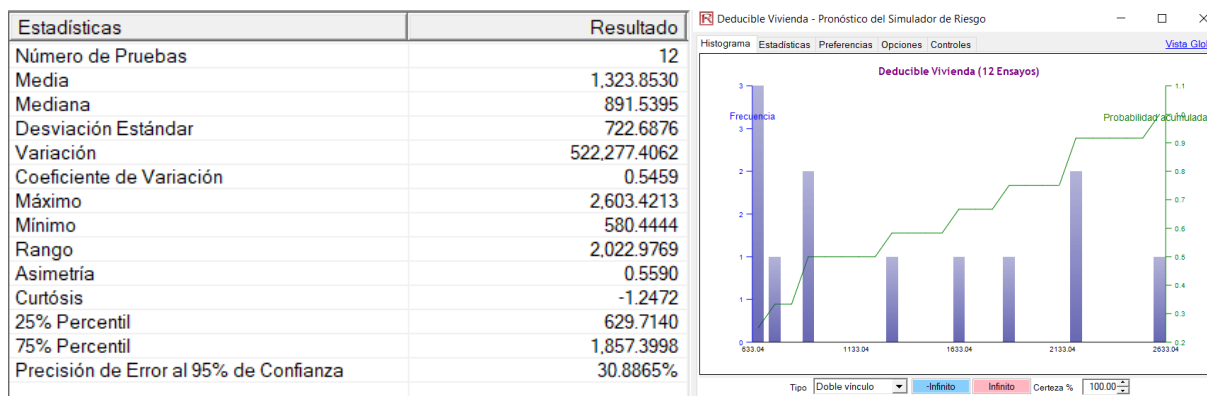


Figura 5.32 *Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 20%*

Fuente: Elaboración Propia

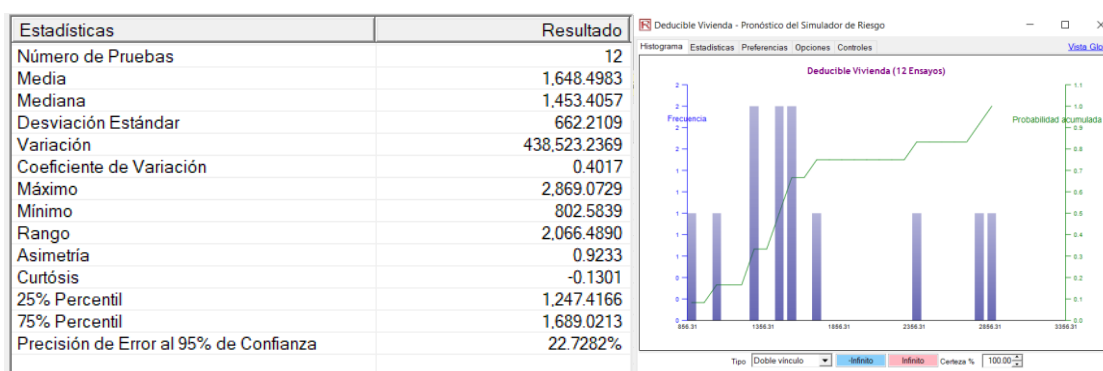
Tabla 5.32 *Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 20%*

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$132.20	\$242.70	\$37.78	\$148.28
2		\$110.50	\$117.60	\$228.10	\$37.78	\$148.28
3		\$110.50	\$180.00	\$290.50	\$37.78	\$148.28
4		\$110.50	\$240.00	\$350.50	\$37.78	\$148.28
5		\$110.50	\$260.00	\$370.50	\$37.78	\$148.28
6		\$110.50	\$280.00	\$390.50	\$37.78	\$148.28
7		\$110.50	\$317.60	\$428.10	\$37.78	\$148.28
8		\$110.50	\$400.00	\$510.50	\$37.78	\$148.28
9		\$110.50	\$417.60	\$528.10	\$37.78	\$148.28
10		\$110.50	\$560.00	\$670.50	\$37.78	\$148.28
11		\$110.50	\$533.60	\$644.10	\$37.78	\$148.28
12		\$110.50	\$517.60	\$628.10	\$37.78	\$148.28
VNA				\$5,282.20		\$1,779.36
VAN				\$2,976.49		-\$526.35
TIR				13%		-4%
PAYBACK				7.11		12.34

En la tabla 5.32 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 7.11 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.34 años lo que no hace rentable la inversión.

- Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$85729 y 25% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.



**Figura 5.33 Simulaciones monocristalinos para impuesto a la renta de 25%**

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 5.33 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 25%

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$165.25	\$275.75	\$47.22	\$157.72
2		\$110.50	\$147.00	\$257.50	\$47.22	\$157.72
3		\$110.50	\$225.00	\$335.50	\$47.22	\$157.72
4		\$110.50	\$300.00	\$410.50	\$47.22	\$157.72
5		\$110.50	\$325.00	\$435.50	\$47.22	\$157.72
6		\$110.50	\$350.00	\$460.50	\$47.22	\$157.72
7		\$110.50	\$397.00	\$507.50	\$47.22	\$157.72
8		\$110.50	\$500.00	\$610.50	\$47.22	\$157.72
9		\$110.50	\$522.00	\$632.50	\$47.22	\$157.72
10		\$110.50	\$700.00	\$810.50	\$47.22	\$157.72
11		\$110.50	\$667.00	\$777.50	\$47.22	\$157.72
12		\$110.50	\$647.00	\$757.50	\$47.22	\$157.72
VNA				\$6,271.25		\$1,892.64
VAN				\$3,965.54		-\$413.07
TIR				16%		-3%
PAYBACK				6.43		12.18

En la tabla 5.33 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 6.43 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.18 años lo que no hace rentable la inversión.

Procedemos el cálculo de ahorro en impuesto a la renta para los siguientes parámetros excedente \$114288 y 30% de pago de impuesto a la renta, para la simulación utilizamos risk simulator, con una distribución triangular debido que, esta describe una situación donde se conoce los valores mínimos en este caso \$188.91, máximos en este caso \$3643.9 y lo que tienen mayor probabilidad de suceder para este caso \$947.91, con un error de la media de 5%, en la figura 5.21 se presenta una simulación de 12 ensayos debido que para cada año los deducibles pueden cambiar dando un ahorro significativo para este ejemplo.

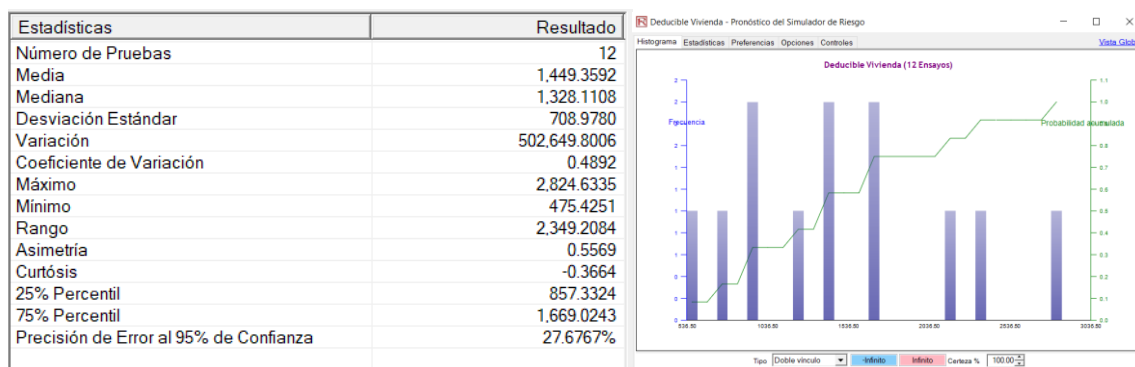


Figura 5.34 Simulaciones policristalinos para impuesto a la renta de 30%  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.34 Cálculos viabilidad económica policristalinos impuesto a la renta 30%  
Fuente: Elaboración Propia

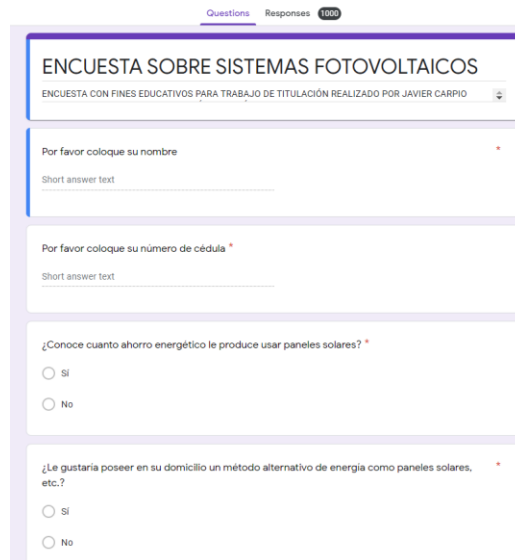
AÑO	INVERSIÓN	INGRESOS	AHORRO IR SUPUESTO	F. C. SUPUESTOS	AHORRO IR REAL	F.C. REAL
0	\$2,266.98		0	-\$2,305.71		-\$2,305.71
1		\$110.50	\$198.30	\$308.80	\$56.67	\$167.17
2		\$110.50	\$176.40	\$286.90	\$56.67	\$167.17
3		\$110.50	\$270.00	\$380.50	\$56.67	\$167.17
4		\$110.50	\$360.00	\$470.50	\$56.67	\$167.17
5		\$110.50	\$390.00	\$500.50	\$56.67	\$167.17
6		\$110.50	\$420.00	\$530.50	\$56.67	\$167.17
7		\$110.50	\$476.40	\$586.90	\$56.67	\$167.17
8		\$110.50	\$600.00	\$710.50	\$56.67	\$167.17
9		\$110.50	\$626.40	\$736.90	\$56.67	\$167.17
10		\$110.50	\$840.00	\$950.50	\$56.67	\$167.17
11		\$110.50	\$800.40	\$910.90	\$56.67	\$167.17
12		\$110.50	\$776.40	\$886.90	\$56.67	\$167.17
VNA				\$7,260.30		\$2,006.04
VAN				\$4,954.59		-\$299.67
TIR				18%		-2%
PAYBACK				5.69		12.09

En la tabla 5.34 se muestra los campos donde, IR( impuesto a la renta), F.C.(Flujo de caja), se presenta un TIR positivo y un retorno de 5.69 años lo que hace atractivo la inversión en este apartado debido que el impuesto a la renta tiene un ingreso significativo para un escenario supuesto, para un escenario real se muestra el TIR negativo y un retorno de 12.09 años lo que no hace rentable la inversión.

## 5.4 Encuestas realizadas a personas.

Esta encuesta se realizó a 1000 personas de la ciudad de Cuenca, que poseen, viviendas promedio de consumo energético, con el objetivo de conocer, en valores numéricos si les parece rentable poseer, sistemas fotovoltaicos en sus hogares, en esta sección presentamos las preguntas y las respuestas obtenidas en la encuesta.

### 5.4.1 Preguntas de la encuesta



The image shows a digital survey interface. At the top, there are tabs for 'Questions' and 'Responses' with a count of '1000'. The survey title is 'ENCUESTA SOBRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS' and the subtitle is 'ENCUESTA CON FINES EDUCATIVOS PARA TRABAJO DE TITULACIÓN REALIZADO POR JAVIER CARPIO'. The survey contains four questions:

- Question 1: 'Por favor coloque su nombre' (Please provide your name). It is a short answer text field.
- Question 2: 'Por favor coloque su número de cédula' (Please provide your ID number). It is a short answer text field.
- Question 3: '¿Conoce cuanto ahorro energético le produce usar paneles solares?' (Do you know how much energy savings it produces to use solar panels?). It has two radio button options: 'Si' (Yes) and 'No'.
- Question 4: '¿Le gustaría poseer en su domicilio un método alternativo de energía como paneles solares, etc.?' (Would you like to have an alternative energy method in your home, such as solar panels, etc.). It has two radio button options: 'Si' (Yes) and 'No'.

Figura 5.35 **Preguntas de la encuesta de paneles solares fotovoltaicos**  
Fuente Elaboración propia

En la fig. 5.35 son pregunta informativas, para averiguar la noción de las personas acerca del uso de paneles solares, de igual manera si les gustaría la idea de tener un método alternativo de generación de energía.

¿En qué rango de precios cree que cuesta tener en su domicilio un un sistema energético de paneles solares sabiendo que su duración es aproximadamente de 12 años de vida ? \*

☐ 500 USD - 700 USD

☐ 700USD - 1000 USD

☐ 1000USD - 1500 USD

☐ +1500USD

De los valores anteriores ¿Cuál de los rangos de precios estaría dispuesto a pagar en caso de que le interese un sistema de paneles solares?

☐ 500 USD - 700 USD

☐ 700 USD - 1000 USD

☐ 1000 USD - 1500 USD

☐ +1500USD

¿Conoce el valor aproximado de su factura de energía eléctrica?. En caso de saber coloque el aproximado en USD

Short answer text

.....

Figura 5.36 **Preguntas siguientes de la encuesta de paneles solares fotovoltaicos**  
Fuente Elaboración propia

En la fig. 5.36 presentamos preguntas investigativas de tal manera que las personas expresen que cantidad de dinero las personas estarían dispuestas a pagar por este tipo de energía renovable.



#### 5.4.2 Respuestas de la encuesta realizada

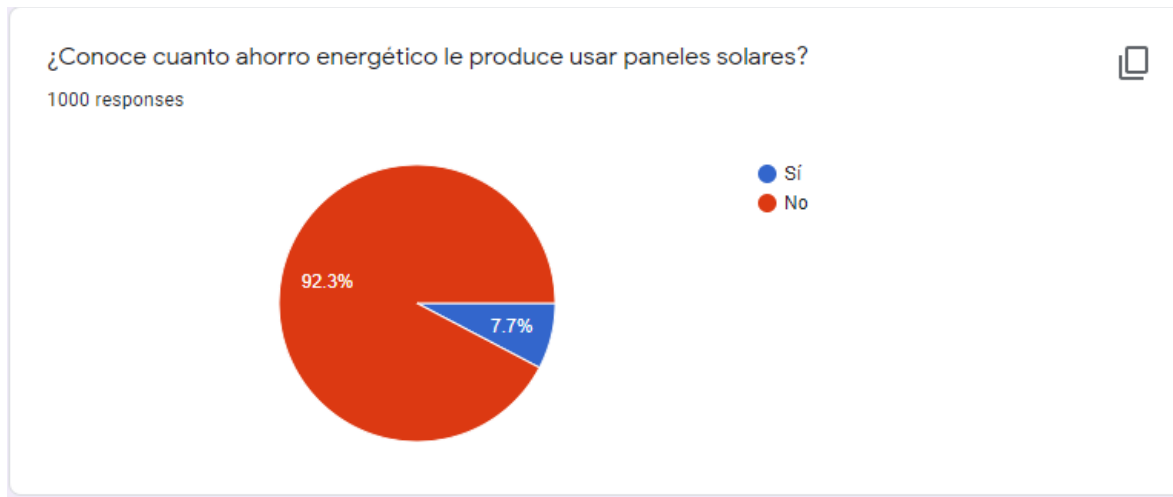


Figura 5.37 **Respuesta sobre ahorro energético.**  
Fuente Elaboración propia

Como se puede observar en la *fig. 5.37* el 92.3% de las personas desconocen el ahorro que puede producir la energía fotovoltaica, dándonos una idea de la mucha falta de información de las energías renovables alternativas en la sociedad.



Figura 5.38 **Respuesta sobre método alternativo de energía.**  
Fuente Elaboración propia

Como se puede observar en la *fig. 5.38* el 94.1% de las personas encuestadas desean tener un método alternativo de energía eléctrica, pese a que en la pregunta anterior el desconocimiento acerca de esta energía es muy amplio.

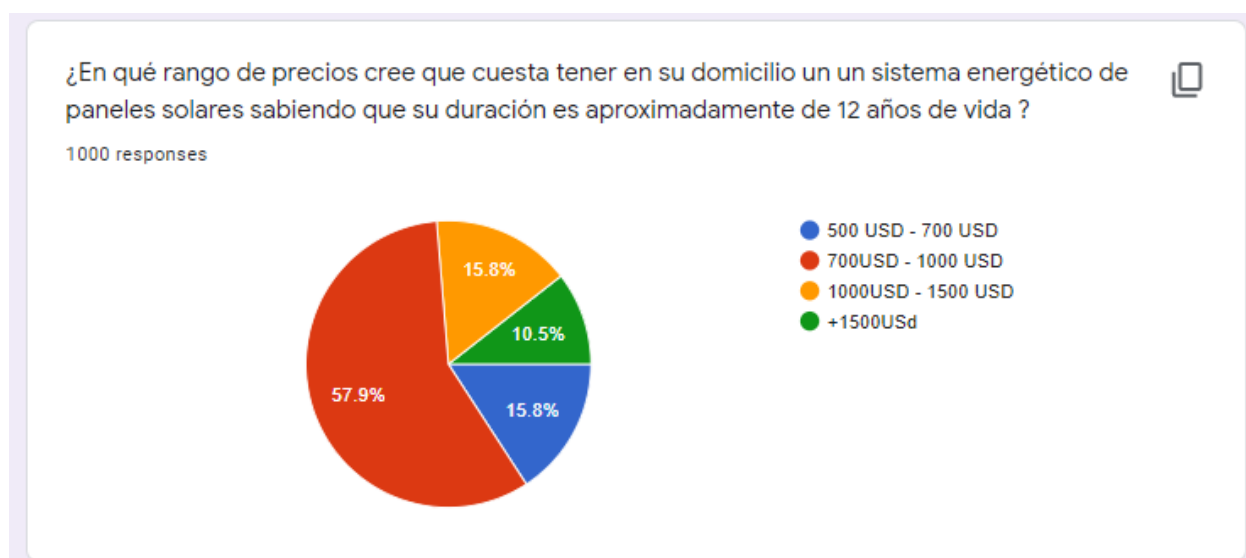


Figura 5.39 **Respuesta sobre precios.**  
Fuente Elaboración propia

En las respuestas de la pregunta de la *fig. 5.39* se observa un dato muy interesante, debido que solo el 10.5% de las personas encuestadas se acercan a un precio real de inversión para un sistema fotovoltaico en sus hogares, el 57.9% de los encuestados piensan en un precio como 700USD a 1000USD, siendo en la realidad un precio imposible de conseguir un sistema fotovoltaico, también se muestran un bajo porcentaje de rango de precios entre 500-700USD y 1000-1500USD con un porcentaje de 15.8%

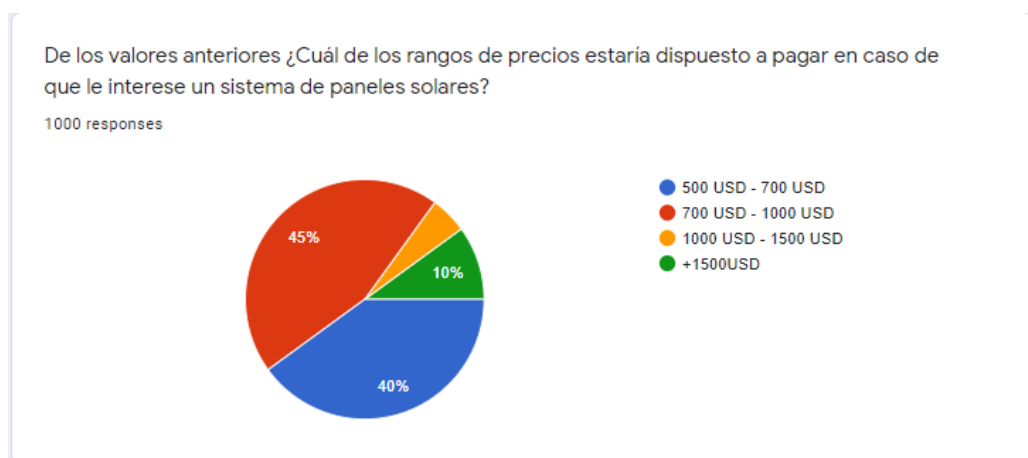
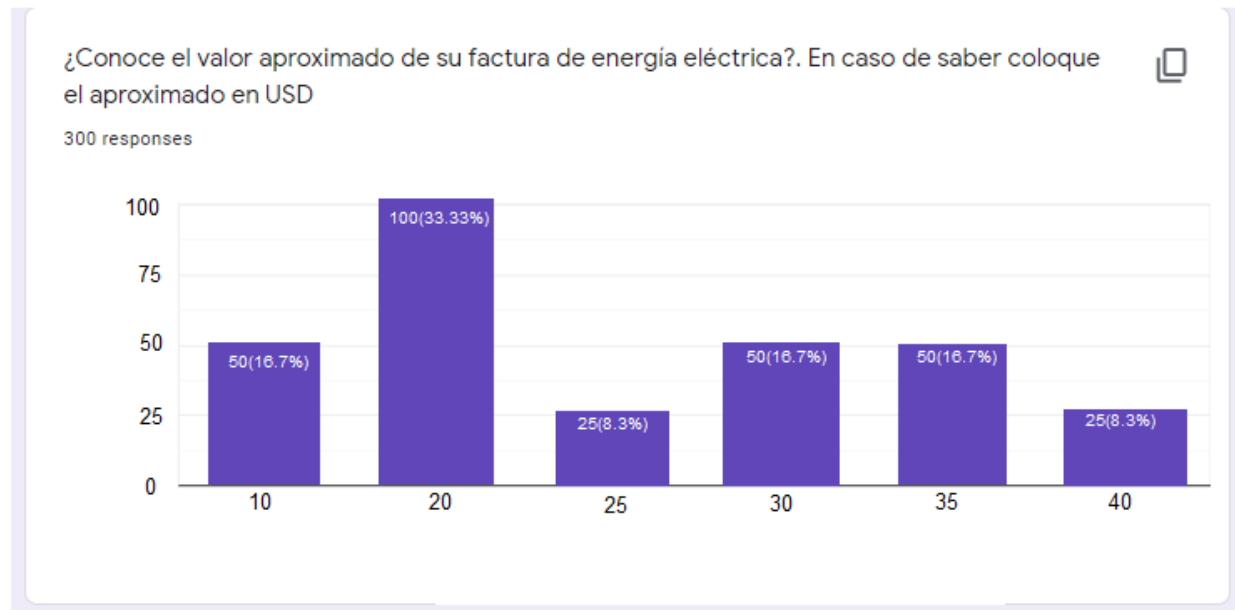


Figura 5.40 **Respuesta sobre costos de inversión.**  
Fuente Elaboración propia

En las respuestas de la pregunta de la *fig. 5.40* se observa que el 85% de las personas encuestadas no estarían dispuestas a invertir un valor mayor a 1000 dólares, lo interesante se expresa, en que un 10% prefiere invertir más de 1500 USD, en cambio solo 5% invierte en un valor de 1000USD a 1500USD, se puede concluir con esta pregunta que un porcentaje muy bajo personas encuestadas estarían dispuestas a invertir un precio aproximado a un costo real de un sistema de paneles fotovoltaicos.



*Figura 5.41 Respuesta sobre factura eléctrica.*  
Fuente Elaboración propia

En esta pregunta se observa un dato muy interesante, debido que no fue colocada como respuesta obligatoria, como se muestra en la *fig. 5.41* de las 1000 personas encuestadas solo el 30% conocen cuanto están pagando por un servicio en este caso el consumo eléctrico, de las personas que contestaron el 33.33% pagan una factura de 20USD, la imagen se toma tal cual de la página de Google, por lo que las ordenadas indican el precio en USD y las abscisas la cantidad de personas que respondieron el número correspondiente.

## Capítulo 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 Conclusiones

Para los prototipos de seguidores solares analizados se observa, mediante las gráficas en la Sección 4.3, que los datos obtenidos entre el seguidor de un eje y dos ejes tienen datos de voltaje similares (Véase la figura 4.10). Por el contrario, para un seguidor de un eje, comparado con un seguidor fijo, existe cierta diferencia en la obtención de datos a favor del seguidor solar con movimiento (Véase la figura 4.11). Estas comparaciones se realizaron mediante la medición del voltaje generado por cada panel con su tipo de seguidor. Se optó por la medición del valor de voltaje debido a que con un sensor de corriente típico en el mercado (Ej. ACS712) no garantiza resultados confiables del valor de corriente medido y además de que los paneles solares utilizados en este trabajo no generan la suficiente corriente requerida para usarla como un diferenciador entre los seguidores solares.

Adicionalmente se observa que existe una mayor lectura de voltaje cuanto más alta es la temperatura ambiente. Esto se pudo obtener gracias al sensor DHT11, lo cual implica, lógicamente, que mientras más radiación solar existe, más energía se transforma en electricidad gracias al efecto fotovoltaico.

Por otro lado, considerando la normativa ecuatoriana ARCONEL 003-18, se puede acortar de cierta forma la inversión en generación fotovoltaica, debido que sin esta regulación se debería incrementar mayormente el presupuesto de un sistema fotovoltaico, por el aumento de costos en baterías y controladores. Esto en cierta forma es un incentivo para atraer la inversión en sistemas de energía renovable, además de los incentivos tributarios para personas jurídicas, y los incentivos económicos que se pueden observar en la sección 5.2.2.

Según las mediciones tomadas por el sistema SCADA del parque fotovoltaico Campus Balzay de la Universidad de Cuenca, se pudo demostrar lo que teóricamente se conoce, que los paneles solares con silicio monocristalino, captan del sol mayor energía solar que los policristalinos. Para este trabajo, los 60 paneles solares monocristalinos (de 250 Wp c/u) del campus Balzay entregaron 1457kWh en un período del 1 de noviembre del 2020 al 30 de abril de 2021, mientras que los 60 paneles solares policristalinos (de la misma potencia nominal) entregaron 1307.97kWh, en el mismo intervalo de tiempo. Con esto se puede deducir que los paneles solares monocristalinos presentan 10.22% más de eficiencia con respecto a los paneles solares policristalinos. Además, se logró estimar mediante interpolación de datos, que un 1kWp de sistemas fotovoltaicos en la región de Cuenca produce al mes 97.17kWh para paneles solares monocristalinos, y 87.19 kWh para paneles solares policristalinos, hay que tener en cuenta que son aproximaciones, a la vez que también se debe considerar que los paneles actuales producen un 4 a 5% más de kWh de los paneles solares con los que se experimentaron en el Campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

En el análisis económico de la sección 5.3 se presenta en tres escenarios un VAN y TIR positivo, por lo tanto, el proyecto más rentable se visualiza en la subsección 5.3.3, por lo que se concluye que mientras más alto sea la inversión en sistemas fotovoltaicos, mayor rentabilidad entrega el sistema. Por otra parte, en los escenarios que el VAN y TIR son negativos se debe a que la vida útil de un inversor solar fotovoltaico oscila entre 10 a 12 años, también se debe a que el consumo eléctrico (kWh) de una vivienda promedio del Ecuador no es muy significativo, por lo que económicamente no es viable la implementación de un sistema fotovoltaico para un hogar, pero su uso ayuda al cuidado del medio ambiente dado que es una energía limpia.

Por otro lado, según las encuestas realizadas solo el 15% de los encuestados estarían dispuestos a invertir una cantidad mayor a 1000USD en paneles solares, a su vez el 92% de los encuestados no conoce información de los paneles solares fotovoltaicos.

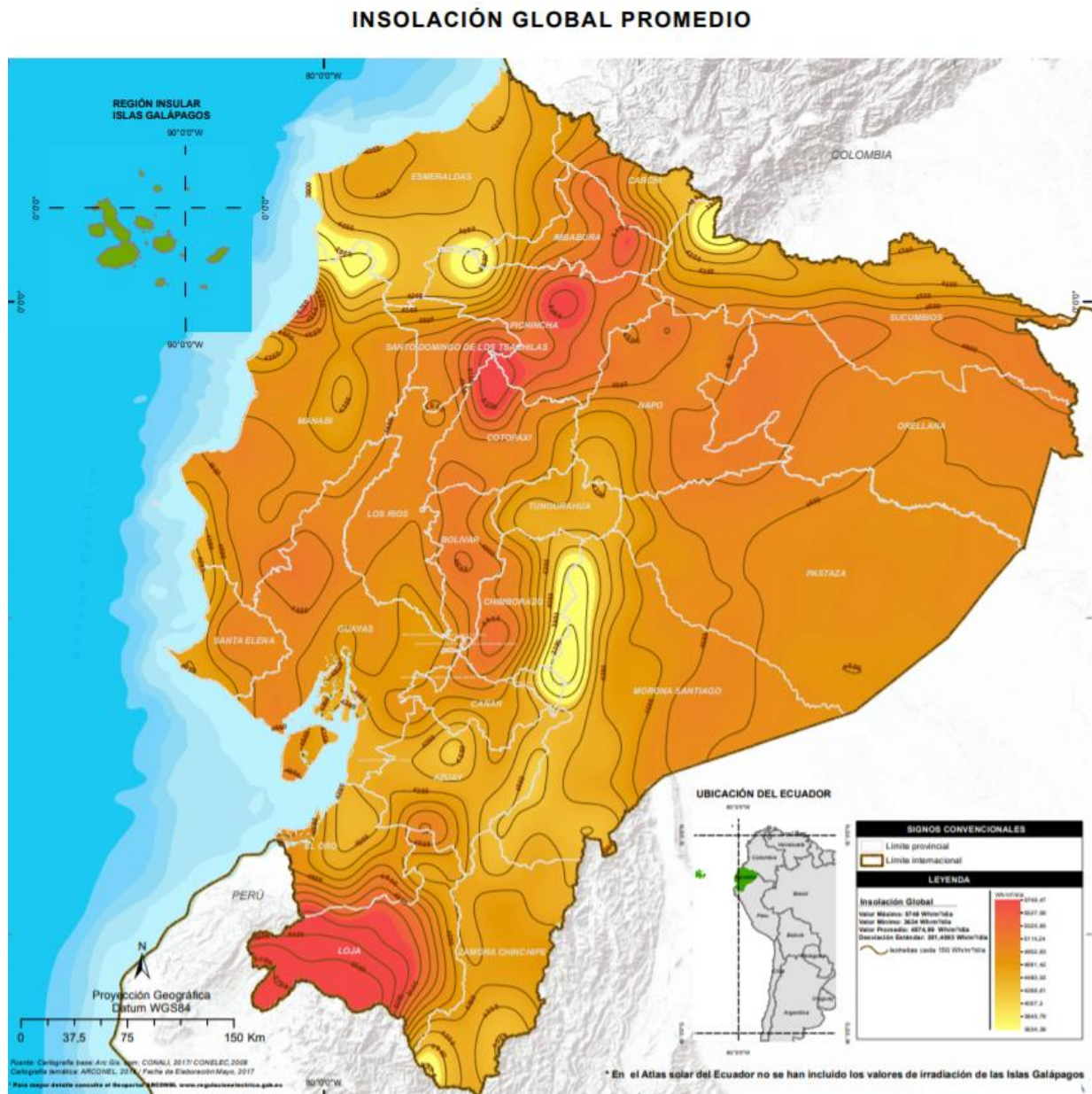
Se concluye finalmente, luego de realizar el presente trabajo de titulación, que las energías renovables no convencionales, en este caso la de sistemas solares fotovoltaicos, están en proceso de crecimiento y aceptación, esto debido a que, para la zona evaluada en la ciudad de Cuenca, no genera rentabilidad económica en una vivienda típica, pero si resulta atractiva para una inversión empresarial como se observó en la sección 5.3. La inversión realizada por la Universidad de Cuenca en un sistema fotovoltaico se constituye con el fin de obtener aprendizaje sobre fuentes alternativas de energía limpia y sostenible, misma que presenta beneficios económicos, energéticos, ambientales y posee un alto impacto en el área académica, debido que brinda oportunidades de investigación en el desarrollo de proyectos energéticos. De igual manera, se espera que el presente trabajo de titulación tenga como punto de partida para otros estudios de energía renovable no convencional en las zonas estudiadas, puesto que, los datos recolectados y analizados son reales en la región de Cuenca.

## **6.2 Recomendaciones**

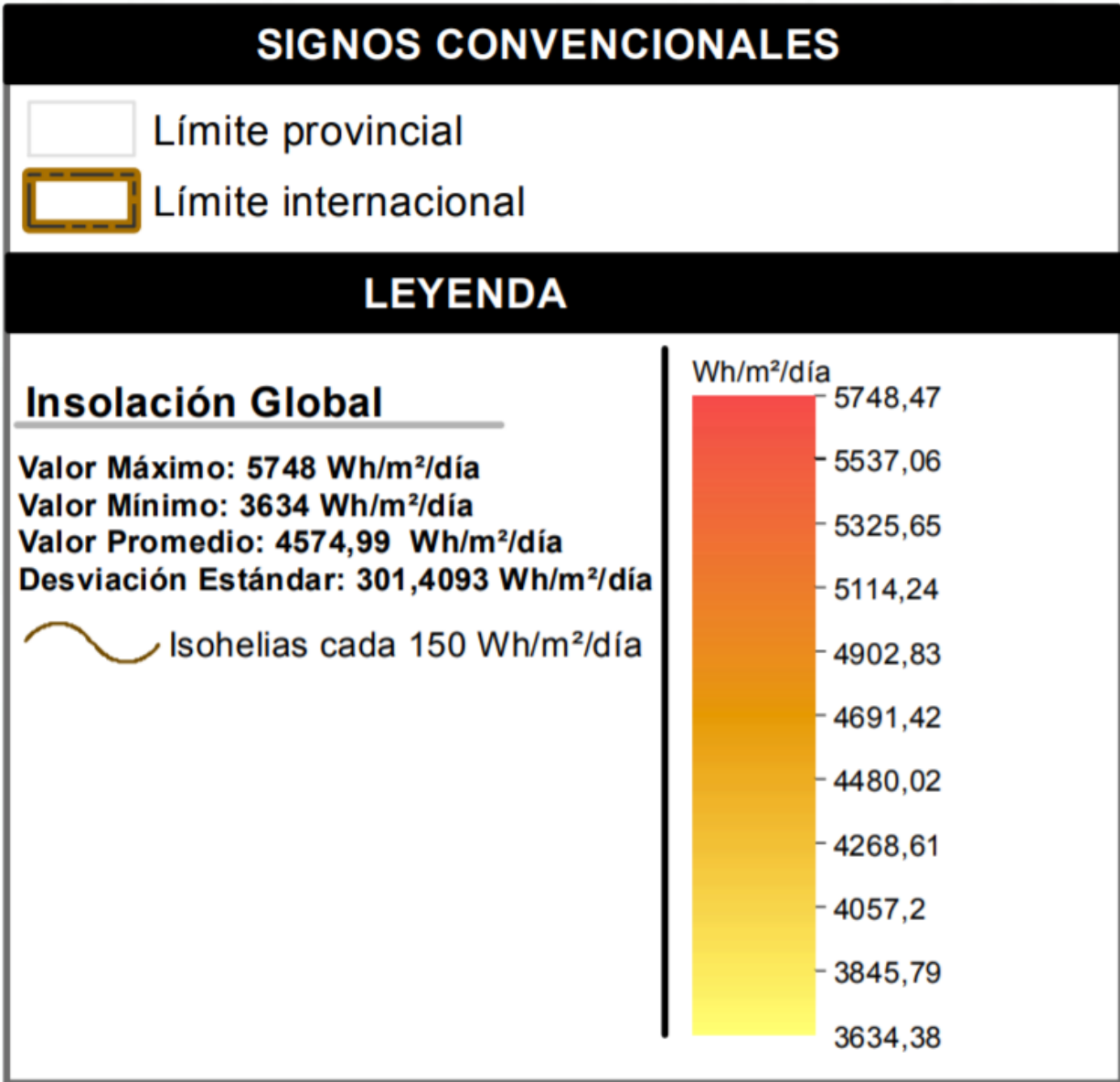
- Se recomienda realizar este tipo de trabajos en ambientes con mayor insolación solar (*Véase el Anexo 1*), para de esta manera aprovechar la geografía ecuatoriana que puede ser muy útil para determinar si este tipo de energía produce una rentabilidad económica mucho mayor en otra región del Ecuador.
- Se recomienda a las autoridades del sector eléctrico, que provean a la ciudadanía en general, una mayor ampliación de información de nuevos sistemas eléctricos con el fin de fomentar emprendimiento y conciencia social sobre la contaminación ambiental que produce las energías convencionales, de esta manera elevar el tipo de sistemas energéticos para el país, con el fin de exportar esta energía o abastecer a más zonas del país que no poseen servicio eléctrico con una energía fiable y libre de contaminación.

## Capítulo 7 Anexos

### Anexo 1 Insolación solar del Ecuador



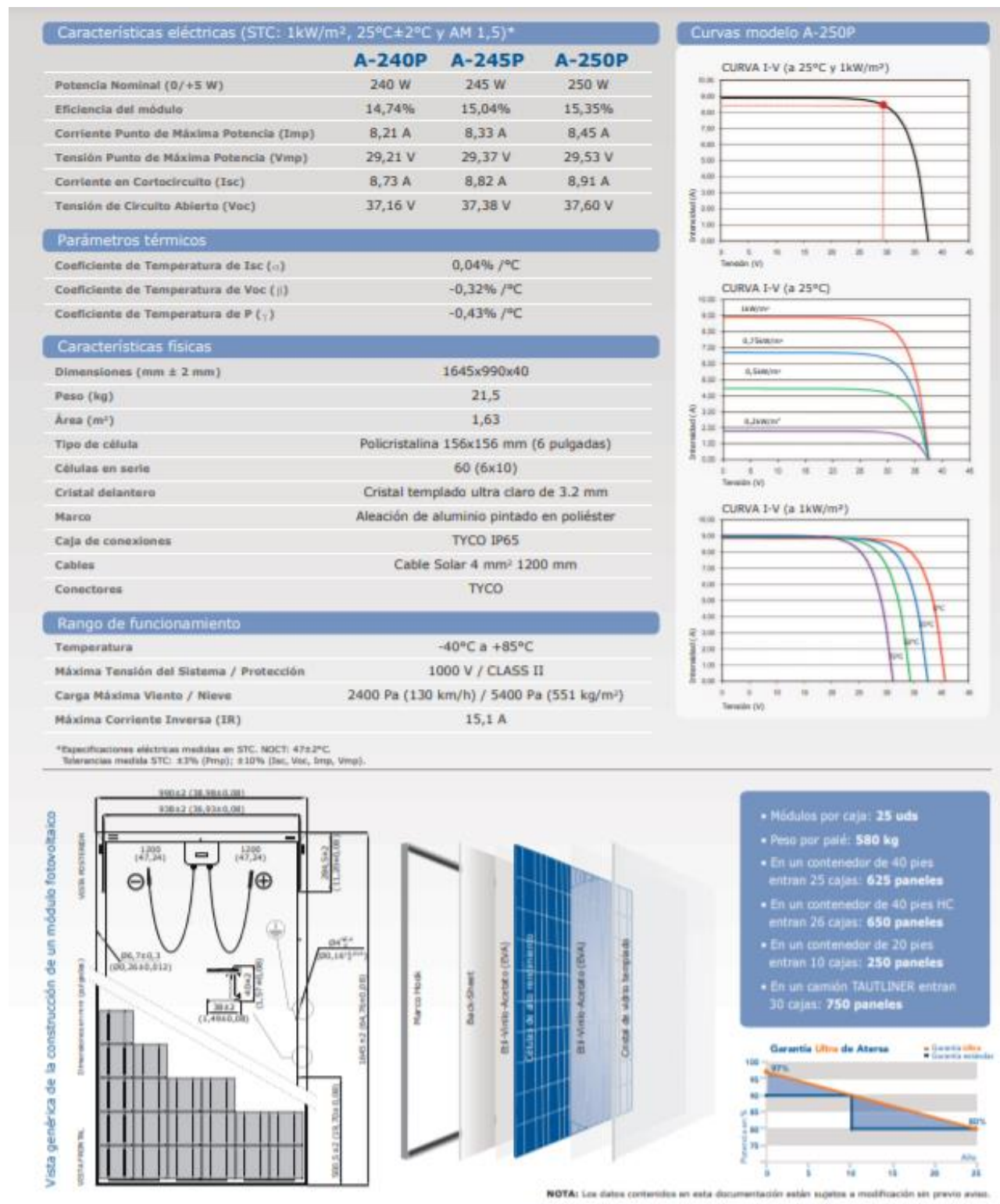
Fuente: ARCONEL (2017)



*Fuente: ARCONEL (2017)*



## Anexo 2 Hoja técnica de Panel Solar A-250M marca Atersa



Fuente: Atersa.shop



## Anexo 3 Hoja técnica del Panel Solar A-395MGS marca Atersa

Módulos fotovoltaicos para el futuro 

### A-xxxM GS (ES) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-380M GS	A-385M GS	A-390M GS	A-395M GS	A-400M GS
Potencia Máxima (P <sub>max</sub> )	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Tensión Máxima Potencia (V <sub>mp</sub> )	40.50 V	40.80 V	41.10 V	41.40 V	41.70 V
Corriente Máxima Potencia (I <sub>mp</sub> )	9.39 A	9.44 A	9.49 A	9.55 A	9.60 A
Tensión de Circuito Abierto (V <sub>oc</sub> )	48.90 V	49.10 V	49.30 V	49.50 V	49.80 V
Corriente en Cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	9.75 A	9.92 A	10.12 A	10.23 A	10.36 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.16	19.42	19.67	19.92	20.17
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	15				
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1000 V				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m<sup>2</sup>, espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.  
Tolerancias medida STC: ±3% (P<sub>mp</sub>); ±10% (I<sub>sc</sub>, V<sub>oc</sub>, I<sub>mp</sub>, V<sub>mp</sub>).  
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

### Especificaciones mecánicas

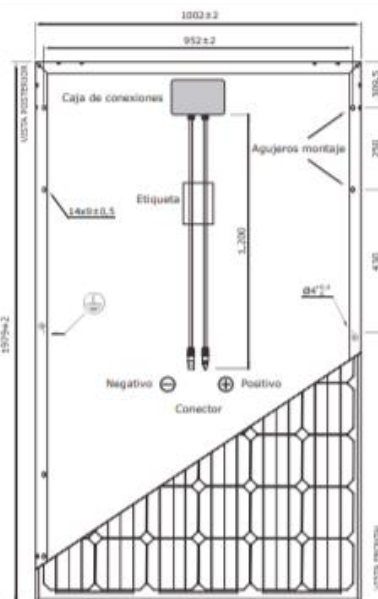
Dimensiones (± 2 mm.)	1979x1002x40 mm.
Peso (± 5 %)	22.5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	2400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

### Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado alta transmisión/bajo nivel hierro/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	72 pzas (6x12)/Mono PERC/158.75 x 158.75 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado /plata
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67/3 diodos
Cable (longitud/sección) / Conector	1.200 mm. /4 mm <sup>2</sup> /MC4 compatible/IP67

(\*) Con capa anti-reflectante

### Vista genérica construcción módulo



NOTA: El dibujo no está a escala.

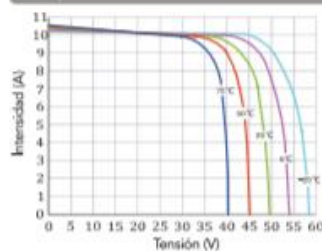
### Características de temperatura

Coef. Temp. de I <sub>sc</sub> (TK I <sub>sc</sub> )	0.048% /°C
Coef. Temp. de V <sub>oc</sub> (TK V <sub>oc</sub> )	-0.28% /°C
Coef. Temp. de P <sub>max</sub> (TK P <sub>max</sub> )	-0.37% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C

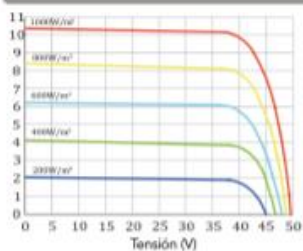
### Embalaje

Módulos/palé	27 pzas
Palés/contenedor 40' HQ	22 palés
Módulos/contenedor 40' HQ	594 pzas
Palés/contenedor 20'	8 palés
Módulos/contenedor 20'	216 pzas

### Temperatura Varía (A-400M GS)



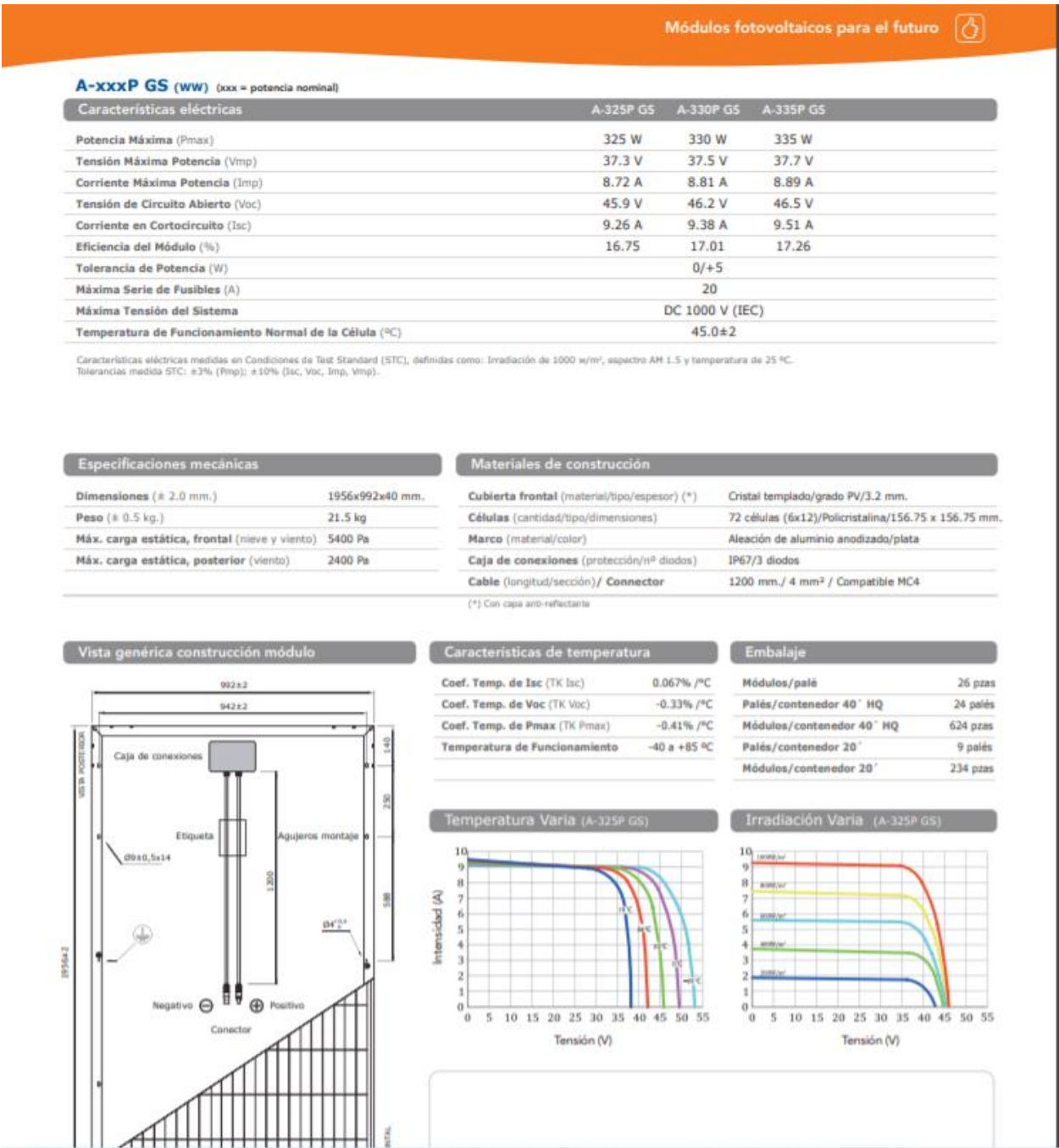
### Irradiación Varía (A-360M GS)



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

Fuente: Atersa.shop

Anexo 4 Hoja técnica del Panel Solar A-335PGS marca Atersa



## Anexo 5 Hoja técnica inversor red solis 2000G.

Datasheet		
Model Name	Solis-mini-2000-4G	
Input DC		
Recommended max. PV power	2.3kW	
Max. input voltage	600V	
Rated voltage	330V	
Start-up voltage	90V	
MPPT voltage range	80-500V	
Max. input current	11A	
Max. short circuit current	17.2A	
MPPT number/Max. input strings number	1/1	
Output AC		
Rated output power	2kW	
Max. apparent output power	2.2kVA	
Max. output power	2.2kW	
Rated grid voltage	1/N/PE, 220/230V	
Rated grid frequency	50/60Hz	
Rated grid output current	9.1/8.7A	
Max. output current	10.5A	
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)	
THDi	<3%	
Efficiency		
Max. efficiency	97.2%	
EU efficiency	96.5%	
Protection		
DC reverse-polarity protection	Yes	
Short circuit protection	Yes	
Output over current protection	Yes	
Surge protection	Yes	
Grid monitoring	Yes	
Anti-islanding protection	Yes	
Temperature protection	Yes	
Integrated DC switch	Optional	
General Data		
Dimensions (W*H*D)	310*373*160 mm	
Weight	7.4kg	
Topology	Transformerless	
Self consumption	<1W (night)	
Operating ambient temperature range	-25 ~ +60°C	
Relative humidity	0-100%	
Ingress protection	IP65	
Cooling concept	Natural convection	
Max. operation altitude	4000m	
Grid connection standard	VDE-AR-N 4105, VDE V 0124, VDE V 0126-1-1, UTE C15-712-1, NRS 097-1-2, G98, G99, EN 50549-1/-2, RD 1699, UNE 206006, UNE 206007-1, IEC 61727	
Safety/EMC standard	IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 61000-6-1/-2/-3/-4	

*Fuente: Atersa.shop*

## Anexo 6 Captura de muestras del sistema SCADA del parque fotovoltaico Balzay.

EneroFotovoltaico - Excel

Archivo

Inicio

Insertar

Disposición de página

Fórmulas

Datos

Revisar

Vista

Ayuda

¿Qué desea hacer?

Pegar

Cortar

Copiar

Copiar formato

Calibri

11

A

A

N

K

S

Ajustar texto

Combinar y centrar

General

\$

%

000

0.00

0.00

Formato condicional

Portapapeles

Fuente

Alineación

Número

K15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1						ENERGÍA 1(kWh)	ENERGÍA 2(kWh)		
2	FILA	HORA	RAD SOLAR	Monocrsitalino(kW)	Policristalino(kW)	0	0		
3	525877	6:00:04,000	0	-0.0462284	-0.0462887	-0.000128412	-0.00012858		
4	525878	6:00:14,000	0	-0.0542649	0	-0.000279148	-0.00012858		
5	525879	6:00:24,000	0	-0.0458119	-0.1	-0.000406403	-0.000406358		
6	525880	6:00:34,000	0	0	-0.0451776	-0.000406403	-0.000531851		
7	525881	6:00:44,000	0	-0.0563611	-0.0564022	-0.000562962	-0.000688524		
8	525882	6:00:54,000	0	-0.0441072	-0.1	-0.000685482	-0.000966301		
9	525883	6:01:04,000	0	0	0	-0.000685482	-0.000966301		
10	525884	6:01:14,000	0	-0.0589231	0	-0.000849157	-0.000966301		
11	525885	6:01:24,000	0	0	0	-0.000849157	-0.000966301		
12	525886	6:01:34,000	0	-0.0612952	-0.0612355	-0.001019422	-0.0011364		
13	525887	6:01:44,000	0	0	0	-0.001019422	-0.0011364		
14	525888	6:01:54,000	0	0	-0.1	-0.001019422	-0.001414178		
15	525889	6:02:04,000	0	-0.0322801	-0.0323089	-0.001109089	-0.001503925		
16	525890	6:02:14,000	0	-0.1	-0.0669437	-0.001386866	-0.001689879		
17	525891	6:02:24,000	0	-0.1	-0.0323028	-0.001664644	-0.001779609		
18	525892	6:02:34,000	0	-0.0683855	-0.068427	-0.001854604	-0.001969684		
19	525893	6:02:44,000	0	-0.0704043	-0.0703445	-0.002050171	-0.002165086		
20	525894	6:02:54,000	0	-0.1	0	-0.002327949	-0.002165086		
21	525895	6:03:04,000	0	0	-0.0222946	-0.002327949	-0.002227015		
22	525896	6:03:14,000	0	-0.0718713	-0.0280875	-0.002527592	-0.002305036		
23	525897	6:03:24,000	0	-0.1	-0.0253579	-0.002805369	-0.002375475		
24	525898	6:03:34,000	0	0	-0.0260467	-0.002805369	-0.002447827		
25	525899	6:03:44,000	0	0	-0.0247735	-0.002805369	-0.002516642		
26	525900	6:03:54,000	0	-0.1	-0.1	-0.003083147	-0.00279442		
27	525901	6:04:04,000	0	-0.076055	-0.1	-0.003294411	-0.003072198		
28	525902	6:04:14,000	0	-0.0230266	-0.1	-0.003358374	-0.003349975		
29	525903	6:04:24,000	0	-0.1	-0.1	-0.003636152	-0.003627753		

Hoja1

Hoja2

Hoja3

Hoja4

Hoja5

Hoja6

Hoja7

Hoja8

Hoja9

Hoja10

Hoja11

Hoja12

Hoja13

...

*Fuente: Elaboración Propia*

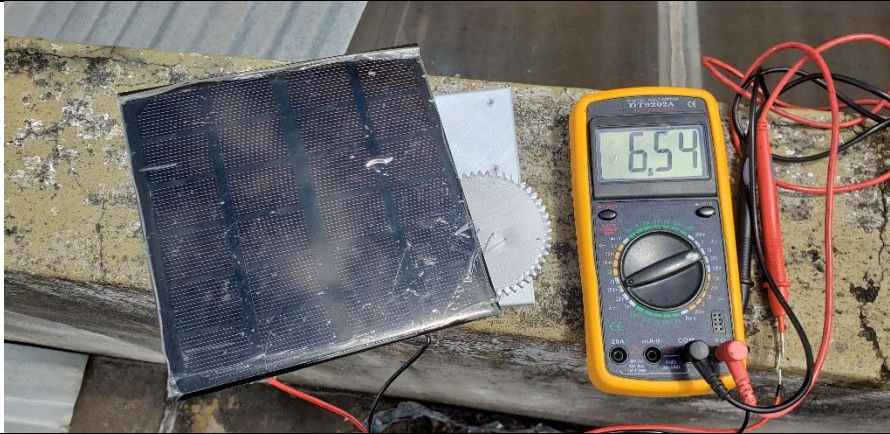

Anexo 7 Mediciones de los prototipos fotovoltaicos.

Tabla Anexo 7

Fuente: Elaboración Propia

Ambiente	Voltaje
Lluvioso	4.22V
Nublado	5.62V
Semi nublado	6.54V



	
<p>Despejado</p> 	<p>7.01V</p>

## Anexo 8 Mediciones de los prototipos juntos en un día lluvioso



*Fuente: Elaboración Propia*



*Fuente: Elaboración Propia*



## Anexo 9 Captura de muestras de los prototipos de seguimiento solar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1				Panel Fijo			Panel 1 Eje			Panel 2 Ejes		
2	DÍA	Fecha	Hora	T1	H1	V1	T2	H2	V2	T3	H3	V3
67	2	11/3/2021	11:30:00	15	62	5,38	16	64	5,82	16	64	6,49
68		11/3/2021	11:40:00	15	65	5,42	15	66	5,92	15	68	6,65
69		11/3/2021	11:50:00	15	66	4,89	15	66	5,07	15	70	5,15
70		11/3/2021	12:00:00	20	63	6,15	20	64	8,13	20	64	8,65
71		11/3/2021	12:10:00	21	64	5,91	21	65	7,60	21	68	8,38
72		11/3/2021	12:20:00	20	63	5,67	20	66	6,88	20	65	7,28
73		11/3/2021	12:30:00	19	68	5,69	19	69	7,49	20	69	8,23
74		11/3/2021	12:40:00	20	61	5,79	21	61	7,10	20	65	7,73
75		11/3/2021	12:50:00	21	64	6,07	22	66	7,28	21	68	8,08
76		11/3/2021	13:00:00	21	68	6,08	22	68	7,14	22	69	7,68
77		11/3/2021	13:10:00	20	73	5,88	21	76	7,40	21	76	8,14
78		11/3/2021	13:20:00	19	75	6,20	20	77	7,77	19	79	8,27
79		11/3/2021	13:30:00	21	76	5,80	21	78	7,07	21	77	7,68
80		11/3/2021	13:40:00	21	71	5,72	22	71	6,88	21	73	7,35
81		11/3/2021	13:50:00	20	74	5,98	20	78	7,36	20	77	7,98
82		11/3/2021	14:00:00	21	78	6,17	21	82	7,64	22	80	8,06
83		11/3/2021	14:10:00	20	80	5,05	21	81	6,29	21	82	6,90
84		11/3/2021	14:20:00	19	78	5,09	20	81	6,97	19	82	7,41
85		11/3/2021	14:30:00	20	76	5,02	21	79	6,62	21	78	7,31
86		11/3/2021	14:40:00	20	69	5,12	20	73	6,32	20	72	7,08
87		11/3/2021	14:50:00	19	77	5,17	19	78	6,56	19	80	7,17
88		11/3/2021	15:00:00	20	77	5,02	21	77	6,34	21	79	7,01
89		11/3/2021	15:10:00	17	77	4,85	18	79	6,25	18	81	6,79

*Fuente: Elaboración Propia*



## Capítulo 8 Bibliografía

- [1] K. R. Lang, The Cambridge Encyclopedia of the Sun, Cambridge University Press, 2001
- [2] Breyer C, Bogdanov D, Gulagi A, Aghahosseini A, Farfan J. On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. Prog Photovoltaics Res Appl. 2017;25:727-745.
- [3] Snaith HJ. Perovskites: the emergence of a new era for low-cost, high-efficiency solar cells. J Phys Chem Lett. 2013;4:3623-3630.
- [4] Singh GK. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. Energy. 2013;53:1-13.
- [5] Quesada G, Guillon L, Rousse DR, Mehrtash M, Dutil Y, Paradis PL. Tracking strategy for photovoltaic solar systems in high latitudes. Energy Convers Manage. 2015;103:147-156.
- [6] Muhammad (2019), A Review on Solar Tracking System: A Technique of Solar Power Output Enhancement
- [7] N. Kuttybay et al., "An Automated Intelligent Solar Tracking Control System With Adaptive Algorithm for Different Weather Conditions," 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Selangor, Malaysia, 2019, pp. 315-319, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825098.
- [8] International Energy Agency. 2011. Solar Energy Perspectives: Executive Summary (PDF).
- [9] Jarauta, L. (2014). LAS ENERGÍAS RENOVABLES. Cataluña, España: VULLSABER.
- [10] Barberá Santos D. Introducción a la Energía Fotovoltaica. 1st ed. Cádiz
- [11] Astronomy: A beginner's guide to the Universe by E. Chaisson and Steve McMillan (Pearson Prentice Hall)
- [12] Rivadulla Rodríguez A. La solución revolucionaria de Planck del problema de la radiación del cuerpo negro. Física cuántica y realidad. 2002;43-56.
- [13] Tipos de Paneles Solares: En el Mercado y en el Laboratorio [2020] [Internet]. Solar Magazine. 2020 [cited 3 December 2020]. Disponible en: <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>.
- [14] Visconti P, Costantini P, Orlando C, Lay-Ekuakille A, Cavalera G. Software solution implemented on hardware system to manage and drive multiple bi-axial solar trackers by PC in photovoltaic solar plants. Measurement. 2015;76:80-92.
- [15] El Kadmiri Z, El Kadmiri O, Masmoudi L, Bargach MN. A novel solar tracker based on omnidirectional computer vision. Journal of Solar Energy. 2015;149852:6. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/149852>.
- [16] Sallaberry F, Pujol-Nadal R, Larcher M, Rittmann-Frank MH. Direct tracking error characterization on a single-axis solar tracker. Energy Convers Manage. 2015;105:1281-1290.

- [17] Fathabadi H. Novel high efficient offline sensorless dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems and solar concentrators. *Renewable Energy*.
- [18] Clifford MJ, Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker. *Sol Energy*. 2004;77:269-280.
- [19] Sumathi V, JAYAPRAGASH R, BAKSHI A, AKELLA PK. Solar tracking methods to maximize PV system output-A review of the methods adopted in recent decade. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017; **74**:130-138.
- [20] Rousse M, Checkmate A, Hadji S, Haddadi M, Nouredine S. Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions. *Appl Energy*. 2011;88:1756-1771
- [21] Syafii RN, Hadi M. Improve dual axis solar tracker algorithm based on sunrise and sunset position. *J Elect Syst*. 2015;11:397-406.
- [22] Morón C, Ferrández D, Saiz P, Vega G, Díaz JP. New prototype of photovoltaic solar tracker based on arduino. *Energies*. 2017;10:1298.
- [23] Kayri I, Gencoglu MT. Prediction of power production from a single axis photovoltaic system by Artificial Neural Networks. In: *Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, 2017 14th International Conference on. IEEE. 2017: 212-215.
- [24] Kiyak E, Gol G. A comparison of fuzzy logic and PID controller for a single-axis solar tracking system. *Renew Wind Water Sol* 2016;3:7.
- [25] Aldair AA, Obed AA, Halihal AF. Design and implementation of neuro-fuzzy controller using FPGA for sun tracking system. *Iraq J Elect Electron Eng*. 2016;12:123-136.
- [26] HAMED BM, EL-MOGHANY MS. Fuzzy Controller Design using FPGA for sun tracking in solar array system. *Int J Intell Syst Appl*. 2012; **1**:46-52
- [27] Martín, N., & Fernández, I. (2007). *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones*. Reverté
- [28] Méndez, J., Cuervo, R., & S.A.U., E. I. (2008). *Energía Solar Térmica*. Fundación Confemetal, FC.
- [29] Díaz, T., & Carmona, G. (2010). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. En *Técnico en instalaciones eléctricas y automáticas*. Reforma L.O.E. Mc Graw Hill.
- [30] E. G. Laue, «The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations», *Solar Energy*, vol. 13, pp. 43 - 50, IN1-IN4, 51-57, 1970.
- [31] (Cha et al. 2018) Cha, Hae Lim et al. 2018. “Ciencias Aplicadas Predicción Poder de Bifacial Si PVModule Con Diferentes Condiciones de La Reflexión Sobre La Azotea.”
- [32] CASTRO G. Orlando. *Evaluación Financiera y Económica Social*. Editado Banco Centro Americano de Integración Económica, San José
- [33] Zuniga Jara, S., Alvarez, M., Santander, M. and Serrano, E., 2013. *Análisis económico de*

- una casa eficiente con uso de energía fotovoltaica. Horizontes Empresariales, vol. 1, pp 9-22, 2012
- [34] Arduino Nano Tutorial, *DiyIoT*, jul. 2019. <https://diyi0t.com/arduino-nano-tutorial/> (accedido may 01, 2021).
  - [35] Arconel. (2018). Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica.
  - [36] Acavir Cursos con Certificado SETEC. (2021, 11 enero). *Impuestos Aduaneros Ecuador - Comercio Exterior*. Cursos de Capacitación con Certificado SETEC. <https://www.acavir.com/comercio-exterior/impuestos-nacionales/>
  - [37] Banco Pichincha. (2020, 18 septiembre). *Factura de Luz*. <https://www.pichincha.com/portal/blog/post/consumo-fantasma-electricidad>
  - [38] Sa, E. (2019, 14 noviembre). *Beneficios Económicos Y Tributarios De La Energía Solar En Ecuador*. Enercity S.A. <https://enercitysa.com/>
  - [39] Cardenas, M., 2019. *Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala*. Universidad de Cuenca.
  - [40] Agencia de regulación y control de la electricidad. (s. f.). *COSTO DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN 2020* [Comunicado de prensa]. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/3-Resultados-Costo-SPEE-2020.pdf>
  - [41] Servicio de Rentas Internas; SRI le hace bien al país; Junio 2021 <https://www.sri.gob.ec/impuesto-renta>
  - [42] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos; Índice General Nacional; <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home>
  - [43] Cárdenas Calle, M. G. (2019-04-11). *Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala* (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32326>